UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

ARQUITECTURAS REVERSIBLES DEL PASADO. RECUPERACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO DESMONTABLE.

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

PAULA JAÉN CAPARRÓS
ARQUITECTO

MADRID, 2024





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

DOCTORADO EN CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS

ARQUITECTURAS REVERSIBLES DEL PASADO. RECUPERACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO DESMONTABLE.

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

PAULA JAÉN CAPARRÓS

ARQUITECTO

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

Dr. ENRIQUE AZPILICUETA ASTARLOA

MADRID, 2024

Título: ARQUITECTURAS REVERSIBLES DEL PASADO.
RECUPERACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO DESMONTABLE.

Autora: PAULA JAÉN CAPARRÓS

Programa de Doctorado:
DOCTORADO EN CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS

Director de tesis:
ENRIQUE AZPILICUETA ASTARLOA.
Doctor Arquitecto. Profesor Titular. Universidad Politécnica de Madrid.

Revisores externos:

.....

.....

Tribunal de tesis:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fecha de defensa:

.....

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

ARQUITECTURAS REVERSIBLES DEL PASADO.

RECUPERACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO DESMONTABLE.

TESIS DOCTORAL

AUTORA: PAULA JAÉN CAPARRÓS, Arquitecta
DIRECTOR: ENRIQUE AZPILICUETA ASTARLOA, Doctor arquitecto

2024

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha sido realizada durante un fascinante trayecto entre Japón, Estados Unidos, y Europa. En cada uno de estos lugares he encontrado personas que han resultado tener una importancia determinante para la elaboración de mi investigación y a las que debo un profundo agradecimiento.

En primer lugar, al Profesor Darko Radović, y a los miembros de su laboratorio en Keio University, Tokio, por su acogida, su apoyo y sus consejos durante mi larga estancia de investigación en Japón. A la Profesora Fujita Kaori (University of Tokyo), al Profesor Martin Morris (Chiba University), y al Profesor Kengo Kuma (University of Tokyo) y a su equipo de arquitectos, por descubrirme nuevos casos y nuevas perspectivas que sin duda han enriquecido el contenido de la tesis.

A la Profesora Dana Buntrock, por acogerme durante mi estancia de investigación en el Center for Japanese Studies y en el College of Environmental Design de U. C. Berkeley, y al Profesor Ian Kelso, del mismo centro, por su atención y sus amables consejos.

Al Profesor Gabriele Masera (Politecnico di Milano), por su acompañamiento durante mi investigación en Japón, y por su permanente apoyo. Al Profesor Julius Natterer (École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL), por invitarme a charlar con él sobre mi tesis en su estudio, por hospedarme y por alimentarme aquellos días.

A mis profesores y compañeros del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. En especial, al Profesor Alfonso del Águila, por ayudarme a dar los primeros pasos de mi doctorado, y al Profesor Ramón Araujo, por aconsejarme y guiarme durante todo el camino. A los profesores Almudena Ribot, Diego Garcia-Setien, Gaizka Altuna y al resto de miembros de CoLab Madrid (ETSAM, UPM), por hacerme un hueco en sus publicaciones y en sus clases para presentar mi investigación.

A mi director de tesis, Enrique Azpilicueta, por animarme a iniciar esta tesis y por apoyarme de manera incansable durante toda la investigación.

A mis padres, Paula y Ángel, y a mis hermanos, Beatriz, María y Luis, por su amor incondicional y por su ayuda, de todo tipo.

A Martín y a Alfonso, mi mejor compañía.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN **xvii**

ABSTRACT **xxi**

HIPÓTESIS · OBJETIVOS · METODOLOGÍA **1**

INTRODUCCIÓN **7**

CAPÍTULO 1 · REVERSIBLE Y NATURAL **16**

1.1. Oportunidad 21

1.2. Mutabilidad 35

1.3. Durabilidad 51

1.4. Materialidad 65

1.5. Levedad 77

1.6. Ciclabilidad 95

CAPÍTULO 2 · DESMONTAJE **112**

2.1. Proporción 115

2.2. Conformación 127

2.3. Unión 155

2.4. Precisión 175

2.5. Construcción 191

2.6. División 213

CAPÍTULO 3 · EVOLUCIÓN Y FUTURO **228**

3.1. Apoyo simple 231

3.2. Empuje y tracción 251

3.3. Junta elástica 269

3.4. Poste y dintel 285

3.5. Esqueleto y pared 323

3.6. Fabricación digital 361

CONCLUSIONES **381**

CONCLUSIONS **393**

BIBLIOGRAFÍA **403**

PUBLICACIONES Y CONGRESOS **417**

CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES **421**

ANEXOS **434**

ÍNDICE DESGLOSADO

RESUMEN **xvii**

ABSTRACT **xxi**

HIPÓTESIS · OBJETIVOS · METODOLOGÍA **1**

0.1. Hipótesis 2
0.2. Objetivos · Importancia de la investigación 2
0.3. Investigación general 3
0.4. Investigación específica 3
0.5. Estructura general 4
0.6. Estructura de cada capítulo 4
0.7. Medios de la investigación 5

INTRODUCCIÓN **7**

0.8. Aproximación al planteamiento 10
0.9. Reversible y natural · el desmontaje en el diseño sostenible 11
0.10. Desmontaje · de la arquitectura a la pieza 12
0.11. Evolución y futuro 13
0.12. Planteamiento del problema 14

CAPÍTULO 1 · REVERSIBLE Y NATURAL **16**

1.1. Oportunidad 21
1.1.1. Oportunidad en occidente 26
1.1.2. Oportunidad en oriente 29
1.1.3. Oportunidad en el Japón Clásico 31

1.2. Mutabilidad 35
1.2.1. Mutabilidad orgánica 41
1.2.2. Mutabilidad natural 43
1.2.3. Mutabilidad e identidad 45
1.2.4. Mutabilidad y reconstrucción 49

1.3. Durabilidad 51
1.3.1. Durabilidad y fugacidad 57
1.3.2. Durabilidad por niveles 61
1.3.3. Durabilidad material 63

1.4. Materialidad 65
1.4.1. Materialidad primaria 71
1.4.2. Materialidad reciclable 73
1.4.3. Materialidad intercambiable 75

1.5. Levedad 77
1.5.1. Levedad constructiva en acero 85

1.5.2. Levedad constructiva en madera 87
1.5.3. Levedad de los componentes de acero 89
1.5.4. Levedad de los componentes de madera 91
1.5.5. Levedad de los componentes n nuevos materiales 93

1.6. Ciclabilidad 95
1.6.1. Ciclo biológico 101
1.6.2. Ciclo técnico 103
1.6.3. Reciclado de alta calidad 105
1.6.4. Ciclabilidad y posición 107
1.6.5. Ciclabilidad y el pasaporte de los materiales 109

CAPÍTULO 2 · DESMONTAJE 112

2.1. Proporción
2.1.1. Proporción modular 121
2.1.2. Proporción en la era industrial 123
2.1.3. Proporción digital 125

2.2. Conformación 127
2.2.1. Conformación y pensamiento 134
2.2.2. Conformación instrumental 137
2.2.3. Conformación de la madera en Egipto 141
2.2.4. Conformación de la madera en Japón 143
2.2.5. Conformación mimética 145
2.2.6. Conformación de la piedra en Egipto 147
2.2.7. Conformación de la piedra en Grecia 149
2.2.8. Conformación de la piedra en Roma 153

2.3. Unión 155
2.3.1. Unión y posición 160
2.3.2. Unión unidireccional en Egipto 163
2.3.3. Unión unidireccional en Grecia 165
2.3.4. Unión conformada en Japón 169
2.3.5. Unión conformada y herramientas 171
2.3.6. Unión y evolución 173

2.4. Precisión 175
2.4.1. Precisión en la Antigüedad 181
2.4.2. Precisión instrumental 183
2.4.3. Precisión artesanal 185
2.4.4. Precisión material 187
2.4.5. Precisión industrial 189

2.5. Construcción 191
2.5.1. Construcción en la Antigüedad 197

2.5.2. Construcción artesanal 199
2.5.3. Construcción e intercambiabilidad 201
2.5.4. Construcción en cadena 205
2.5.5. Construcción organizada 207
2.5.6. Construcción y unidad 209
2.5.7. Construcción sin desperdicios 211

2.6. División 213
2.6.1. División en piedra 219
2.6.2. División del carpintero 221
2.6.3. División por mantenimiento 225

CAPÍTULO 3 · EVOLUCIÓN Y FUTURO 228

3.1. Apoyo simple 231
3.1.1. Apoyo simple bajo piedra 239
3.1.2. Apoyo simple reconstruido 241
3.1.3. Apoyo simple mimético 245
3.1.4. Apoyo simple y flexión en cubierta 247

3.2. Empuje y tracción 251
3.2.1. Empuje y tracción en hormigón 256
3.2.2. Empuje y tracción en entramados de cubierta 259
3.2.3. Empuje y tracción y el pendolón colgante 261
3.2.4. Empuje y tracción en estructuras flotantes 263
3.2.5. Empuje y tracción en prototipos 267

3.3. Junta elástica 269
3.3.1. Junta elástica en el muro cortina gótico 275
3.3.2. Junta elástica y los entramados de cubierta 277
3.3.3. Junta elástica y ladrillos recuperados 279
3.3.4. Junta elástica y las bóvedas encamonadas 281

3.4. Poste y dintel 285
3.4.1. Poste y dintel junto con armazón 291
3.4.2. Poste y dintel en la renovación 297
3.4.3. Poste y dintel en manos del carpintero 305
3.4.4. Poste y dintel y la reproducción técnica 309
3.4.5. Poste y dintel y la colectividad 313
3.4.6. Poste y dintel en regiones aisladas 319

3.5. Esqueleto y pared 323
3.5.1. Del esqueleto y pared hacia los entramados 329
3.5.2. Esqueleto y pared en hierro y vidrio 333
3.5.3. Esqueleto y pared y la coherencia técnica 337
3.5.4. Esqueleto y pared y el conector X 341

3.5.5. Esqueleto y pared en la casa de acero 343
3.5.6. Esquetelo y pared y la gestión de la industria 347
3.5.7. Esquetelo y pared en la transferencia tecnológica 359

3.6. Fabricación digital 361
3.6.1. Fabricación digital en madera 367
3.6.2. Fabricación digital en acero 371
3.6.3. Fabricación digital y el entramado ligero 373
3.6.4. Fabricación digital y el pabellón experimental 377

CONCLUSIONES 381

CONCLUSIONS 393

BIBLIOGRAFÍA 403

Bibliografía general 404
Bibliografía específica 406

PUBLICACIONES Y CONGRESOS 417

CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES 421

ANEXOS 434

Anexo 1. Atlas del desmontaje 435

Anexo 2. Colecciones de casos 463

RESUMEN

Los diseños naturales son energéticamente óptimos, y cada elemento de la naturaleza se encuentra necesariamente incorporado a un ciclo biológico. Como parte de nuestro ecosistema, las acciones del ser humano han de estar inexorablemente integradas en este proceso. Debemos recuperar y reutilizar todo lo que fabricamos y producimos, y devolverlo adecuadamente a nuestro entorno. En este sentido, las soluciones desmontables son una de las mejores respuestas para atender esta propuesta. Fabricar, construir, utilizar, mantener y deconstruir renovando los recursos; retirarse sin dejar huella en el paisaje; recuperar y reutilizar materiales y componentes.

Como respuesta a los actuales desafíos sociales, ambientales y económicos globales, los arquitectos, fabricantes y constructores, tendrán que adoptar nuevos métodos de construcción. En lugar de demoler las estructuras y sistemas integrados, dando como resultado montañas de escombros no recuperables, los sistemas deberán presentar la posibilidad de ser desmontados, y sus componentes reutilizados, transformados y ensamblados de nuevo con su configuración original o en nuevas combinaciones. Una vez superada la desconfianza inicial de los usuarios finales del edificio, la posibilidad del desmontaje, introducida desde las primeras etapas del proyecto, implicará el uso de materiales y sistemas listos para ser reutilizados y reciclados, recuperando los materiales en sí mismos y, con ello, la energía que contienen. Este planteamiento permitirá que los edificios existentes puedan servir como materia prima para las nuevas construcciones, sustituyendo la obtención de recursos del medio natural.

Desde el punto de vista técnico, partimos de la construcción como ensamblaje de piezas que resolverá la realidad del objeto edificado. En este contexto, las juntas se convierten en un elemento más que interviene decididamente en la definición de la forma y la composición del edificio. La junta seca se presenta como la unión que sí es posible desmontar, donde acometen piezas íntegras en su forma y dimensión. El resultado será un ensamblaje de partes que se percibe como un sistema completo, y que define el edificio como un ser compuesto, en el que todo está y nada sobra.

Más allá de las conclusiones alcanzadas por los estudios más recientes, la investigación ha exigido comenzar por el principio. La primera etapa de estudio se basa en aquellas arquitecturas permanentes con alto potencial de desmontaje construidas en la Antigüedad y hasta la Revolución Científica. Allí podemos encontrar de manera clara y evidente el equilibrio preciso entre elementos, espacio, forma y función, obteniendo la integración adecuada para cada entorno. En la segunda etapa se evalúa la evolución de cada solución y se establece su conexión con casos más recientes desarrollados a partir de la Revolución Industrial.

A partir de la identificación y del análisis de las principales soluciones constructivas permanentes con alto potencial de desmontaje construidas en el pasado, el objetivo principal de esta tesis ha sido valorar y ordenar las pautas atemporales, proyectuales

y constructivas, que permitan establecer la base de diseño de toda arquitectura desmontable del futuro.

Para alcanzar este objetivo, se ha desarrollado una extensa investigación documental en la que se han incluido visitas a los casos más representativos seleccionados y encuentros con los artesanos que los crearon. A partir de estas visitas y de la recopilación de otros casos, se ha realizado un análisis comparativo del potencial y de las limitaciones para el desmontaje de los sistemas estudiados. Finalmente, se han obtenido las estrategias atemporales, relacionadas y ordenadas desde lo general a lo particular, para el diseño de propuestas reversibles. La presentación de la tesis se realiza en tres capítulos principales, abarcando la reversibilidad como proceso natural, la definición de los parámetros de desmontaje en las primeras arquitecturas y el regreso a las arquitecturas reversibles del pasado.

No existe ningún sistema o estructura que haya desaparecido completamente después de su invención. Las tecnologías innovadoras esenciales siguen vigentes, aunque sigan existiendo solo en pequeños ámbitos, o solo para apoyar renovaciones periódicas. Todo sistema constructivo aplicado en la actualidad admite su equivalencia con otro empleado en el pasado. Siguiendo esta reflexión, la atenta lectura de la arquitectura del pasado permitirá mejorar el diseño en el futuro. La obtención de las relaciones entre unos y otros y la integración de sus ventajas será el objetivo de este proyecto.

ABSTRACT

Natural designs are energetically optimal, as each part of nature is necessarily incorporated into a biological cycle. As a part of the ecosystem, human actions are forced to integrate within the natural biological cycle. Civilization must recover and reuse all of what we produce and create, and give it back to our environment properly. This idea makes reversible and detachable solutions one of the best answers to this premise. Create, build, use, maintain and detach renewing the resources means leave without leaving any trace in the landscape, means recover and reuse materials and components.

As an answer to the social, environmental and economic global challenges, architects, manufacturers, and builders are asked to adopt new building methods. Instead of taking down the integrated structures and systems, resulting in piles of non-recoverable debris, the system must have the possibility of being disassembled and its components reused, transformed, or reassembled again with their original configuration or any other new combination. Having overcome the initial distrust of the final inhabitants of the building, its capability of being disassembled, set on the very first stages of the project, will imply the use of materials and systems ready to be recycled and reused, recovering them and, by extension, the energy they contain. This planification will allow existing buildings to become raw material for new constructions, replacing the obtention of resources from the environment.

From a technical point of view, the core idea is of building as an assembly of pieces that will become the reality of the built object. In this context, joints become another element which defines the form and composition of the building. Dry joints are presented as the joint that can be effectively disassembled, with whole pieces in their shape and dimension. The result will be an assembly of parts that are perceived as a complete system, and define the building as a composed ‘being’, in which everything is and nothing is useless.

Beyond the conclusions reached by the most recent studies, research had to begin from the very beginning, from the earliest eras.

The first stage is based in those systems built in the early ages up to the times of the Scientific Revolution. There we can find in a clear and obvious way the precise balance in the correspondence between elements, space, form and function, obtaining the proper integration for each environment. On the second stage it is intended to assess the evolution of each solution and to establish its connection with the most recent developments built since the beginning of the Industrial Revolution.

From the analysis and identification of the main permanent building solutions with high dissassemblage potential built in the past, the main objective of this work has been to evaluate and organize the timeless, project, and constructive guidelines that allow the creation of a design base for all detachable architecture of the future.

To attain this objective, an extensive documental research was conducted, including visits to some of the most representative cases studied, and interviews with their

creators. From these visits, as well as other cases, a comparative analysis of the potential and limitations of the dissassemblage of the systems under study. The conclusion includes timeless strategies, related and organized from most general to most particular, for the design of reversible proposals.

The presentation of the present thesis is structured in three main chapters: first, reversibility as a natural process; second, the definition of the parameters for dissassemblage, and third, the return to architectural processes of the past.

There is no construction system that has completely disappeared after its invention. Essential innovative technologies remain active even they may continue to exist only in small areas, or only for supporting periodical renovations. Every construction system applied in the present supports its equivalence with another used in the past.

Following this discussion, a careful reading of ancient architectural systems is able to provide the basis to define the design guidelines of reversible architecture for a more sustainable future. The analysis of the relations between past and future and the integration of its advantages is, thus, the objective of this project.

HIPÓTESIS · OBJETIVOS · METODOLOGÍA

HIPÓTESIS

Esta tesis pretende demostrar que, partiendo de la identificación y del análisis de las soluciones constructivas, potencialmente desmontables, que encontramos en las arquitecturas de las primeras épocas, es posible definir una serie de estrategias atemporales, proyectuales y constructivas, que establezcan las bases de la arquitectura reversible del futuro.

OBJETIVOS · IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El principal objetivo de esta investigación es demostrar la hipótesis, y consistirá en la identificación, valoración y ordenación de las pautas atemporales, obtenidas mediante el conocimiento del potencial de desmontaje de las arquitecturas del pasado, para establecer la base de diseño para toda arquitectura desmontable del futuro.

Y esto es importante ya que facilitará la incorporación de la opción del desmontaje como parte integral del proceso de diseño arquitectónico, contribuyendo además a aumentar de manera significativa la calidad constructiva y ambiental global de la propuesta.

Se establecen además otros objetivos adicionales:

Establecer una visión general de lo desmontable, abarcando desde las primeras épocas, y extrayendo los principales parámetros relacionados con el objetivo principal de la investigación.

Definir el estado de las soluciones desmontables de la arquitectura permanente en la Antigüedad y hasta la Revolución Científica. Esto implicará la identificación de las propuestas con alto potencial de desmontaje de los comienzos de la arquitectura y la evaluación de cada sistema.

Establecer las correspondencias con sistemas constructivos actuales (desarrollados a partir de la Revolución Industrial), con la obtención y valoración de los invariantes y las mejoras introducidas en la evolución de los sistemas.

Por aplicación de los dos puntos anteriores, proceder a la recuperación de las pautas atemporales que darán lugar a la definición de las estrategias para un diseño desmontable.

INVESTIGACIÓN GENERAL

Para la realización de la tesis se ha desarrollado una amplia investigación documental en la que se ha consultado una extensa bibliografía general de modo que pudiera aportar un acercamiento a la reversibilidad de las primeras construcciones desde distintos ángulos. El análisis de la información recopilada ha acompañado este proceso. Esto ha servido para confirmar o reconducir la hipótesis inicial en relación a la estructura de la tesis, así como para conformar los distintos ensayos introductorios al inicio de cada apartado. Con esta tarea se ha pretendido alcanzar un profundo conocimiento del estado de la cuestión para poder llevar a cabo la elaboración del texto final en torno a las cuestiones enunciadas en un principio, siguiendo un desarrollo inductivo.

INVESTIGACIÓN ESPECÍFICA

Una vez realizado este acercamiento general, se ha llevado a cabo una investigación más detallada en torno a cada una de tres partes que conforman la tesis a través de una bibliografía particular relacionada con cada uno de los conceptos presentados. Esto permite una aproximación específica a la explicación de cada uno de los casos que se incluyen en los seis apartados de cada uno de los tres capítulos.

Al mismo tiempo, acompañando a esta investigación documental se ha desarrollado un extenso trabajo de campo en el que se han incluido visitas a los casos más representativos seleccionados y encuentros con los artesanos que las crearon. A partir de estas visitas y de la recopilación de otros casos, se ha obtenido una colección de casos representativos con alto potencial de desmontaje de las primeras épocas (desde comienzos de la arquitectura hasta la Revolución Científica), estudiando cada solución atendiendo al material empleado, época, sistema constructivo y contexto social, económico y geográfico, entre otros factores, valorando su potencial y limitaciones para el desmontaje en cada caso, agrupando las distintas soluciones y obteniendo unas conclusiones parciales de este primer periodo en relación a la aplicación de la opción del desmontaje.

Siguiendo la evolución de los sistemas seleccionados del primer periodo, también se ha obtenido una colección de soluciones actuales (desarrolladas a partir de la Revolución Industrial), extrayendo los factores de evolución e invariantes de cada sistema, identificando las mejoras y empeoramientos y valorando su evolución.

Finalmente, se ha realizado una identificación y valoración de los sistemas que han presentado una mejor evolución y adaptación al medio, teniendo en cuenta los conceptos generales y técnicos enunciados, organizando las pautas a adoptar en el modelo actual, de lo particular a lo general, obteniendo las estrategias para un diseño desmontable.

ESTRUCTURA GENERAL

Cada uno de los tres capítulos del presente documento, que se conforman a partir de seis apartados, reúnen los distintos conceptos de la reversibilidad vistos desde diferente ángulo.

De este modo, el capítulo 1, Reversible y natural, incorpora los conceptos teóricos de la reversibilidad como proceso natural deteniéndose en los siguientes: oportunidad, mutabilidad, durabilidad, materialidad, levedad y ciclabilidad; el capítulo 2, Desmontaje, introduce la definición de una serie de conceptos más técnicos en relación al desmontaje en las primeras épocas: dimensión, conformación, unión, precisión, construcción, división; el capítulo 3, Evolución y Futuro, reúne varios conceptos relativos a la definición constructiva bajo los cuales se han levantado las construcciones a lo largo de la historia relacionados con el desmontaje: apoyo simple, empuje y tracción, junta elástica, poste y dintel, esqueleto y pared, fabricación digital [1].

ESTRUCTURA DE CADA CAPÍTULO

En cada apartado se incluyen cuatro estratos de documentación que se corresponden con: estado del arte, aportación original, catálogo y representaciones; y que se organizan en cuatro formatos: citas, ensayos, informes e imágenes.

Citas

Cada uno de los seis apartados de los tres capítulos delimita su definición a través de las líneas más relevantes de los documentos manejados durante la investigación, que se presentan en forma de citas. Su propósito será establecer la actualidad y el interés de cada término en relación a la tesis.

Ensayos

Tras las citas, se incorpora en cada apartado un texto a modo de ensayo que desarrolla cada uno de los conceptos, y en el que se incluyen aportaciones originales.

1
Esta tesis pretende dar continuidad a la estructura planteada en la tesis doctoral *Materia Informada. Deformación, conformación y codificación, los tres procedimientos de almacenamiento de información en la materia*, de Ignacio Borrego Gómez-Pallete.

Informes

En cada apartado se incluye una relación casos que confirman lo presentado en cada ensayo. Cada uno de los informes recoge una intervención concreta en torno a la reversibilidad, desde la perspectiva de la tesis, aportando todos los datos necesarios extraídos de la investigación específica. A partir de la reunión de todos los informes presentados en los apartados de la tesis, se podría configurar un catálogo de casos representativos de la investigación.

Imágenes

Los casos se apoyan en distintas representaciones gráficas que son parte fundamental de la investigación. Esta documentación gráfica se acompaña de un pie de foto que aporta la información precisa tanto de cada caso como de su autor. El conjunto de todas las imágenes, referidas a sus casos, configura un atlas que funciona a modo de síntesis de la investigación, y que se presenta como anexo al final del documento.

MEDIOS DE LA INVESTIGACIÓN

Durante la investigación se han realizado dos estancias en centros extranjeros financiadas por dos becas internacionales de la Universidad Politécnica de Madrid:

Keio University, Tokyo. Japan. Faculty of Science and Technology. Yagami Campus.
Proyecto de Investigación: “Wood as sustainable material for dismountable architecture & urban design”.
Mentor: Prof. Darko Radovic. Professor of Architecture and Urban Design at Keio University. Visiting Professor at United Nations University, Institute for Advanced Studies of Sustainability, Tokyo. Visiting Professor at Politecnico di Milano DAStU.
Duración: 25 meses.
Beca Internacional de Investigación dentro del Programa Europeo de movilidad doctoral EM-EASED, coordinado por École Centrale Paris.

University of California, Berkeley. Estados Unidos. Center for Japanese Studies & College of Environmental Design.
Proyecto de Investigación: “Reversible Architectures in the Past. Recovering Strategies for a Disassembled Future”.
Mentor: Prof. Dana Buntrock. Professor of Architecture at CED - UC Berkeley. Chair of the University of California’s Center for Japanese Studies.
Duración: 5 meses.
Beca Internacional dentro del Programa de Movilidad en Investigación en Berkeley (PMIB) para estudiantes de doctorado y profesores de la Universidad Politécnica de Madrid.

INTRODUCCIÓN

. . . . . .
José Ferrater Mora.
"*Diccionario de Filosofía*".
Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo II. p. 998-999.

"Ahora bien, no parece haber nada absurdo en la idea de que el tiempo puede ser reversible si se concibe el tiempo como una serie continua, homogénea e infinita: tal serie puede "invertirse" sin que haya ninguna alteración en las propiedades del tiempo. En rigor, los procesos naturales son descritos en la mecánica clásica como posiblemente reversibles: la variable t (tiempo) no tiene sentido determinado en las ecuaciones de dicha mecánica.[…]. Todos los procesos microfísicos son reversibles.[…] Por lo tanto, y contrariamente a lo indicado antes, parece que en la historia y en la vida humana hay mayor dosis de reversibilidad que en ningún otro proceso."

. . . . . .
José Ferrater Mora.
"Diccionario de Filosofía".
Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. p. 502, p.478.

"El estado llamado "civilizado" es una capa sobrepuesta y fácilmente desmontable. La existencia humana es, en último término, individual, de modo que el "progreso" no la afecta".

"Los escolásticos, que utilizaron ampliamente la noción de división, señalaron, de todos modos, la necesidad de distinguir no sólo entre la división lógica y metafísica, sino también entre ésta y la división física. A tal efecto forjaron una teoría de los diferentes tipos de división de acuerdo con el ente dividido, y de acuerdo con el carácter actual, potencial o accidental de la división. Lo fundamental en todas las formas de división es la suposición de que sólo lo compuesto puede dividirse y se divide o resuelve precisamente en sus elementos simples. Las llamadas reglas de la división, por su lado, respondían a las normas lógicas de la división de las nociones y tenían por finalidad esencial mostrar las normas lógicas según las cuales se efectuaban las relaciones entre el todo y los miembros resultantes de la división del todo, así como las relaciones entre los miembros divididos entre sí".

. . . . . .
Louis I. Kahn. *Louis I. Kahn*. *Monografía*. Robert McCarter. Phaidon Press Limited. 2022.

"Los edificios no son monolitos".

. . . . . .
Steward Brand, *How Buildings Learn, What Happens After they're Built,* Quebecor Printing,Tennessee 1995.

"Building is not something you finish. Building is something you start."

"Los residuos de tipo sólido, líquido y gaseoso, nuevos materiales producidos por la especie humana, no deberían generarse a un ritmo mayor que sus posibilidades de tratamiento y absorción por parte de los ecosistemas, ya que la concentración excesiva de sustancias artificiales en el medio ambiente rebasa los límites del equilibrio natural, los cuales no se conocen exactamente.

La ruptura de este estado obliga al sistema de la tierra a hacer lo que ha hecho en oportunidades anteriores frente a grandes cambios de origen natural: crear un nuevo orden o equilibrio. El problema es que las características de la litosfera, la biosfera y la atmósfera en ese nuevo estado podrían no ser adecuadas para la continuidad de las formas de vida que habitan el planeta."

. . . . . .

Gerardo F. Wadel. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* Tesis doctoral. Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande. Universitat Politècnica de Catalunya 2009. p 42.

"The most effective way of learning is to learn by doing. But it may not be clever to do everything ourselves so we must learn from history as well. The most important thing is to test and experiment in order to gain experience and finally expertise."

. . . . . .

Pekka Heikkinen. Professor of Wood Construction. Aalto University. *The challenge of wood architecture*. Ja 89 The japan architect. Wooden architecture. Spring 2013.

"[…] en la ciencia, una disciplina acumulativa, sólo se necesita estudiar el último artículo publicado sobre cualquier tema para obtener todo los datos e historial necesario para ulteriores investigaciones. […] En humanidades, por el contrario, todas las contribuciones son importantes sin que interese la época o la ordenación."

. . . . . .

D'arcy W. Thompson. *El crecimiento y la forma*. H. Blume Ediciones.1980. p.VIII.

"Technology is seen in 21st century not as contributing to the destruction of the world but as offering the only key to its rescue."

. . . . . .

Werner Blaser (Ed). Richard Horden - Light Tech: Towards A Light Architecture. Birkhäuser, Berlin 1995

"Imaginemos cómo podría ser en el futuro un mundo de prosperidad y salud, y comencemos a diseñarlo desde ya. ¿Qué significa, una vez más, nativos de este lugar, la Tierra, el hogar de todas nuestras relaciones? Nos va a costar todo, y nos va a llevar todo el tiempo, para siempre. Pero es que de eso se trata."

. . . . . .

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.178.

APROXIMACIÓN AL PLANTEAMIENTO

.....

La tesis se inicia con una mirada a la introducción de la revista "*IL 37. Alte Baumeister*" publicada en 1994 por el Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) de la Universidad de Stuttgart.

> "La historia de la arquitectura está bien documentada. Es una historia de formas construidas, estilos, técnicas, patrones y de sus maestros constructores o arquitectos. Las formas básicas de la arquitectura evolucionaron por medio de las invenciones e ideas estructurales. La historia del diseño estructural es una historia de ideas, inventos y modelos conceptuales que fueron necesarios para posibilitar el desarrollo […]. Tal historia, sin embargo, existe solo de una manera elemental.
>
> Estudiar la historia de la arquitectura significa llevar a cabo investigaciones, estudiar las fuentes, evaluar pruebas contradictorias y reflexionar de manera crítica. Significa, sobre todo recoger evidencias, examinar edificios, leer libros y entender lo que otros han pensado y escrito sobre los hechos y acontecimientos históricos. Trabajar en una "Historia del diseño estructural" significa buscar en las estructuras históricas aquellas ideas que permitieron que estas estructuras pudieran realizarse. El punto de partida de un estudio de este tipo solo puede ser nuestra experiencia actual y el conocimiento en el diseño, desarrollo y evolución de las estructuras."

"Reversible", del latín *reversus-reverti*, se refiere a aquello que puede alterarse o cambiar volviendo a su estado o condición anterior, volviendo sobre sus pasos. El proceso reversible, una vez ha tenido lugar, puede ser invertido, esto es, recorrido en sentido contrario, volviendo a estados intermedios de transformación en equilibrio.

En la termodinámica, la ventaja de los procesos reversibles reside en la posibilidad de tener al sistema perfectamente caracterizado a la vez que sufre cambios. Al tener el sistema perfectamente descrito en todo momento, se puede realizar una detallada trazabilidad y conocer los datos. En el campo que nos ocupa, el de la arquitectura, la reversibilidad deberá ir, del mismo modo, acompañada de un registro detallado de todo elemento implicado en el proceso, así de cómo sus posibilidades de actuación en cada fase.

Por su parte, se definirá como "desmontable" lo que se puede desmontar, esto es, separar las piezas de las que se compone. La arquitectura es unión [2]. La unión, como narradora del desarrollo de la construcción, y delatora de las características de los materiales y de la escala de los elementos, se convierte en pieza fundamental de toda notable arquitectura. La arquitectura también es división. La división, como evidencia de la existencia de un ser compuesto que encuentra solución en sus elementos simples relacionados mediante normas lógicas con el todo y entre sí.

2
Louis I. Kahn, Joseph Rykwert.

La investigación que se ha desarrollado para la elaboración de esta tesis pretende, mediante el conocimiento del potencial de desmontaje de las arquitecturas del pasado, identificar, valorar y ordenar las pautas atemporales que permitan establecer la base de diseño para toda arquitectura desmontable del futuro. Y esto es importante ya que facilitaría la incorporación de la opción del desmontaje como parte integral del proceso de diseño arquitectónico, contribuyendo además a aumentar de manera significativa la calidad constructiva y ambiental global de la propuesta.

REVERSIBLE Y NATURAL · EL DESMONTAJE EN EL DISEÑO SOSTENIBLE

En la naturaleza todo se recicla. Los diseños biológicos están determinados por la eficiencia, adoptando soluciones acordes al entorno para obtener el máximo beneficio con los mínimos recursos. Los diseños naturales son óptimos. Y en este entorno natural cada elemento se incorpora necesariamente a un ciclo biológico. Los residuos de un organismo pasan a ser el alimento para otro [3]. En esta mirada obligada a lo natural debemos tender a imitar a los ecosistemas y reutilizar y reciclar todo lo que hacemos y construimos como seres humanos dentro de nuestro entorno edificado, y finalmente reintegrarlo de nuevo en el medio natural de una manera transparente y benigna. En este sentido, las soluciones reversibles y desmontables se presentan como una de las mejores maneras de abordar esta propuesta.

Y es que cabe detenerse en la posibilidad que ofrece lo desmontable en cuanto a la manera de construir, usar, mantener y "deconstruir" renovando los recursos. "Retirarse" sin dejar huella en el paisaje. La recuperación y reutilización de materiales y elementos. Y esta renovación, que podrá producirse tanto en la biosfera como bajo la acción del hombre, tendrá un mayor interés cuando se realice bajo esta segunda opción.

En los poblados construidos con tierra del sur de Marruecos el entorno es capaz de recuperar los recursos que le fueron extraídos. Los materiales y elementos vuelven al medio natural reintegrándose en el paisaje. Del mismo modo ocurre con las construcciones basadas en el empleo de elementos ligeros vegetales. La naturaleza se encargará de recuperar aquello que fue prestado. Siendo casos de indiscutible renovación ambiental, la "deconstrucción" no cuenta sin embargo con la intervención del hombre.

Actualmente, el proceso de demolición de la mayoría de los edificios pasa por el reciclaje de una buena parte de residuos que serán reincorporados de nuevo al proceso de transformación para la obtención de materiales. Encontramos que en este proceso de deconstrucción no se produce sin embargo el intento de recuperación de partes íntegras constituyentes del cuerpo construido, esto es, el desmontaje y reutilización de sus componentes [4]. El sector de la construcción, en su respuesta a

3
Michael Braungart, William McDonough. Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.87

4
Werner Sobek. *The future of sustainable architecture: ressources, recyclability and ultra-lightweight*. Architecture and Urbanism, 2014:05; no.524: p. 6-9.

los desafíos ambientales y económicos globales, tendrá que adoptar nuevos métodos de construcción de los edificios. En lugar de destruir las estructuras y sistemas integrados para adaptarlos a las nuevas necesidades, los sistemas deberán ser desmontados y sus componentes reutilizados, transformados y montados de nuevo en nuevas combinaciones.

El reconocimiento del potencial de desmontaje implica el uso de materiales y sistemas dispuestos a ser reutilizados y reciclados y esto conllevará no sólo la recuperación de los materiales en sí mismos, sino también la de la energía que contienen. Si se llegara a adoptar el concepto de diseño unido al desmontaje como una práctica común de proyecto, sería posible que los edificios existentes sirvieran como fuente de materia prima para las nuevas construcciones [5], sustituyendo la obtención de recursos del medio ambiente natural.

Pero, además, hay que tener en cuenta que lo "prefabricado" y lo "desmontable" adquirió hace unas décadas una connotación negativa ante los usuarios finales del edificio. Este hecho ya ha sido superado, y parece que los sistemas industrializados gozan hoy de cierto prestigio. La superación de estos prejuicios tuvo que pasar por la aclaración de las prestaciones reales de estos sistemas y por su adecuación a la demanda tanto temporal como económica exigida por los usuarios. Estas condiciones han resultado ser básicas para que pueda existir una competencia efectiva entre las soluciones desmontables y aquellas tradicionales aceptadas masivamente por su aparente estabilidad y durabilidad superiores.

5
El concepto 'urban mining' hace referencia al hecho de extraer las materias primas, especialmente minerales y metales, de los residuos urbanos, en vez de conseguirlos mediante la excavación en minas.

DESMONTAJE · DE LA ARQUITECTURA A LA PIEZA

Partimos de la realidad técnica de la construcción como ensamblaje de piezas, y de la unión de éstas como un elemento más que interviene decididamente en la forma y composición del edificio [6]. Por su parte, el sistema construido se referirá al conjunto de técnicas de cada cultura destinadas a resolver la realidad de la construcción del objeto edificado. El sistema definirá los límites dentro de los que se desarrollará la arquitectura. Sistema y arquitectura irán de la mano en el proceso de construir.

A diferencia de la junta húmeda, en la que se incluye la soldadura, que no se puede descomponer sin alterar los elementos que en ella concurren, y que da como resultado un todo por ampliación o continuidad de las partes unidas, la junta seca se presenta como la unión que sí es posible desmontar, sobre la que acometen piezas íntegras en su forma y dimensión, y que da como resultado un ensamblaje de partes que se percibe como un todo, y que define al edificio en su condición de ser compuesto, donde todo está y nada sobra. Al mismo tiempo el objeto construido no podrá reducirse únicamente a la suma de sus partes [7], ni a las relaciones con las entidades circundantes, interviniendo en la definición de su realidad otros

6
Enrique Seco. *La unión en arquitectura*. Tectónica, 1998; no.7: p. 5.

7
Luis Alberto Jiménez. Reseña de "Ontología Orientada a Objetos una nueva teoría del todo". Análisis. Revista de investigación filosófica, 7, 1, 2020. pp. 151-155.

factores.

La estereotomía de lo edificado, relación de las partes entre sí y con el todo, como explicación del proceso constructivo, testimonio de las fuerzas, funciones y capacidades de los materiales y proporciones de los elementos, e identificación de la forma y equilibrio del conjunto, se establece como factor esencial de toda arquitectura.

Frente a la creciente evolución técnica de las piezas y de su unión que ha tenido lugar desde los primeros tiempos, y que ha pasado por la especialización material y funcional de la junta, si volvemos la vista atrás vemos cómo la construcción en la Antigüedad contaba con la ventaja de la limitación en cuanto a la cantidad y variedad de los materiales utilizados. Esto daría como resultado una mayor uniformidad en el objeto edificado admitiendo unas soluciones de junta sencillas y homogéneas que darían lugar a grandes posibilidades en sistemas constructivos sencillos y uniformes como los empleados en la Grecia clásica.

Este contexto exige la puesta en valor a lo largo del tiempo de aquellas soluciones en las que se hace presente el equilibrio claro y universal entre piezas, juntas, forma y estabilidad del edificio, de manera duradera y estable, y en las que el sistema de ensamblaje de sus piezas permitiría o habría permitido la opción del desmontaje. Más allá de las propuestas temporales, de las soluciones de emergencia, o de las ligeras construcciones nómadas, el interés se centra en aquello construido con piezas transformadas unidas con junta desmontable, capaz además de perdurar como cualquier otra solución basada en la unión permanente y monolítica de sus miembros.

EVOLUCIÓN Y FUTURO

.....

La investigación exige comenzar por el principio.

El preciso equilibrio en la relación entre elementos, forma y función se encuentra de manera clara y evidente por primera vez en la arquitectura de las primeras civilizaciones superiores, la arquitectura de la antigüedad clásica. Partiendo de los sistemas de junta seca por simple presión vertical de las primeras construcciones del antiguo Egipto o de la Grecia clásica, los sistemas evolucionarán con la introducción del arco y la bóveda romanos y la aparición del llagado activo entre sus piezas. Superados los inicios de la Edad Media la llaga de mortero se hará imprescindible para el asiento de las hiladas irregulares en las fábricas románicas, y no se abandonará en la construcción del esqueleto flexible de las catedrales góticas. El seguimiento de la construcción en madera de los primeros tiempos, realizada a partir del ensamblaje de piezas de distintas secciones, obligará a detenerse por un lado en la arquitectura de los templos orientales y por otro en las “stavkirke” o iglesias medievales noruegas de madera.

Atendiendo a estas primeras etapas, es en ellas donde se desarrolla una arquitectura clara y coherente despojada de toda la tecnología que se desarrollará posteriormente.

La búsqueda de la eficacia en el diseño sitúa a la ligereza como la máxima aspiración de la construcción moderna. En la transición hacia este nuevo objetivo se desarrollará un universo de elementos y juntas en el que en ocasiones el protagonismo de la pieza se difuminará entre una compleja trama de uniones como ocurre en la construcción de la arquitectura del hierro del siglo XIX. La evolución de la modernidad pasará por la introducción de nuevos materiales y la especialización de los distintos elementos según su función dentro del edificio.

Todo sistema constructivo aplicado en la actualidad admite su equivalencia con otro empleado en el pasado [8]. Siguiendo esta reflexión, la atenta lectura de la arquitectura del pasado permitirá mejorar el diseño del futuro. La obtención de las relaciones entre unos y otros y la integración de sus ventajas será el objetivo de este proyecto.

8
Frei Otto. IL23: Form Force Mass 3 – Structure. Institute for Lightweight Structure (IL), University of Stuttgart, 1992, p.128.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El panorama actual ha generado entre los arquitectos una inquietud por la búsqueda de soluciones sostenibles y su incorporación al proceso constructivo. El empleo de sistemas que permitan su desmontaje se ha establecido como una de las principales opciones, al dar por válidas una serie de consideraciones: mayor rapidez, calidad y control en los procesos de construcción y deconstrucción de los sistemas; facilidad de recuperación de piezas en sistemas de junta seca y aligeramiento de componentes; ahorro inmediato de energía debido al reciclaje y reutilización de elementos.

Y si esto es cierto, ¿por qué no se da el paso definitivo hacia la generalización de una arquitectura totalmente desmontable?

A pesar del reconocimiento por parte del colectivo profesional de las ventajas de los sistemas desmontables, y de haberse construido algún ejemplo interesante aislado, estamos aún lejos de ver alguna propuesta en que estas soluciones hayan sido aplicadas al conjunto del edificio con éxito.

La mayoría de los estudios existentes en torno a la opción del desmontaje se centran en un periodo actual muy acotado y únicamente en la definición de complejas uniones de elementos llevadas al extremo de sus prestaciones, dejando de lado la visión global del conjunto edificado desde las primeras fases de diseño. Esto se traduce frecuentemente en la imposibilidad de acceso y recambio de piezas en procesos de desmontaje parcial, y en la pérdida de integridad de la mayoría los componentes de los sistemas en operaciones de desmontaje total, además de en una

incoherencia entre la forma final del edificio y los sistemas de montaje empleados. El edificio finalmente no podrá desmontarse.

Se identifica, por tanto: una falta de referencias en una franja temporal suficientemente amplia en las que las soluciones y sistemas aplicados en la construcción del hecho edificado posibilitan acometer su desmontaje integral; una discordancia entre los estudios encaminados al desarrollo técnico de la junta desmontable y las propuestas de un desarrollo desmontable global del edificio en su conjunto, desde las primeras fases del proyecto hasta la ejecución final; y una desconfianza en estos sistemas por parte de los agentes ajenos al proceso edificatorio, lo que ralentiza y dificulta su integración como sistema generalizado.

CAPÍTULO 1

•

REVERSIBLE Y NATURAL

1.1. OPORTUNIDAD

1.2. MUTABILIDAD

1.3. DURABILIDAD

1.4. MATERIALIDAD

1.5. LEVEDAD

1.6. CICLABILIDAD

DEFINICIÓN · REVERSIBLE Y NATURAL

Reversible

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. adj. Que puede volver a un estado o condición anterior.

[…]

4. adj. Mec. Dicho de un mecanismo: En que el movimiento de una de sus partes causa el movimiento de otra, y a su vez, el de esta última es capaz de causar el movimiento de la primera.

5. adj. Quím. Dicho de un proceso ideal: Que cambia de sentido al alterarse en muy pequeña proporción las causas que lo originan.

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Der. del lat. *reversus*, part. pas. de *reverti* 'volver sobre sus pasos', 'regresar', 'volver'.

En termodinámica, el proceso reversible es aquel que, después de ser llevado de un estado inicial a uno final, puede retomar sus propiedades originales, volviendo a estados intermedios de transformación en equilibrio. La variación de las variables de estado del sistema, entre uno de estos estados de equilibrio intermedio y el sucesivo es una variación infinitesimal. Se trata de un proceso ideal, que rara vez ocurre de manera absoluta, ya que la evolución de cada estado al siguiente requiere de un tiempo infinito.

La palabra "entropía", relacionada directamente con la reversibilidad de los procesos, procede del griego (ἐντροπία) y significa evolución o transformación. Mide el grado de organización de un sistema. También se define como la magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo. Si el incremento de entropía es positivo, los elementos presentan un mayor desorden. Los procesos reversibles, por definición, no conllevan un aumento de entropía.

La entropía, además, supone que del caos pueda surgir una situación de homogeneidad que, a pesar de ser diferente a la condición inicial, suponga que las partes se hallan ahora igualadas o equilibradas.

En este sentido, el término 'reversible' se emplea en esta tesis para dar a entender que la reorganización de los elementos tenderá a equilibrar el sistema, volviendo a estados de entropía casi nulos.

Naturaleza

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. f. Principio generador del desarrollo armónico y la plenitud de cada ser, en cuanto tal ser, siguiendo su propia e independiente evolución. La naturaleza le ha concedido una inteligencia prodigiosa.

2. f. Conjunto de todo lo que existe y que está determinado y armonizado en sus propias leyes.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

De natural. Del lat. *natura* +- *al* + *-eza*.

La palabra latina *natura* deriva del participio del verbo *nasci*, que significa 'nacer'. Esto quiere decir que natura no designaba en principio las cosas naturales que vemos en nuestro entorno, sino los procesos naturales que las originan.

La naturaleza incluye los fenómenos del mundo físico, la materia inerte generada como parte de procesos sin la intervención humana, y al fenómeno de la vida, que incluye también a los humanos.

Actualmente se considera "entorno natural" a todos aquellos componentes de un determinado paisaje que no han sido alterados sustancialmente por el ser humano o que persisten a pesar de la intervención humana.

1. 1. OPORTUNIDAD

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Oportunidad

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. f. Momento o circunstancia oportunos o convenientes para algo.

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *opportunĭtas, -ātis*.

Cualidad de una apertura que nos deja salir del lugar o situación en la que estamos.

.....
Italo Calvino. *Ciudades invisibles. Capítulo IV. Sofronia.* Siruela. 2022.

"La ciudad de Sofronia se compone de dos medias ciudades. En una está la gran montaña rusa de ríspidas gibas, el carrusel con el estrellón de cadenas, la rueda de las jaulas giratorias, el pozo de la muerte con los motociclistas cabeza abajo, la cúpula del circo con el racimo de trapecios colgando en el centro. La otra media ciudad es de piedra y mármol y cemento, con el banco, las fábricas, los palacios, el matadero, la escuela y todo lo demás. Una de las medias ciudades está fija, la otra es provisional y cuando su tiempo de estadía ha terminado, la desclavan, la desmontan y se la llevan para trasplantarla en los terrenos baldíos de otra media ciudad. Así todos los años llega el día en que los peones desprenden los frontones de mármol, desarman los muros de piedra, los pilones de cemento, desmontan el ministerio, el monumento, los muelles, la refinería de petróleo, el hospital, los cargan en remolques para seguir de plaza en plaza el itinerario de cada año. Ahí se queda la media Sofronia de los tiros al blanco y de los carruseles, con el grito suspendido de la navecilla de la montaña rusa invertida, y comienza a contar cuántos meses, cuántos días tendrá que esperar antes de que vuelva la caravana y la vida entera recomience."

.....
Hiroshi Hara. *Learning from Villages: 100 Lessons*. GA Architects no13. 1987.

"Immobile Objects – A delightful village configuration is not immobile, it incorporates perpetual change and evolution."

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. p. 873.

"La noción de horizonte ha sido desarrollada por Ortega y Gasset sobre todo como "horizonte vital" **y** "horizonte histórico". Según Ortega, al interpretar la circunstancia en la que tenemos que ser, y al interpretarnos a nosotros mismos en cuanto pretendemos ser dentro de tal circunstancia, "definimos el horizonte dentro del cual tenemos que vivir" […]. "Y ese conjunto de seguridades que pensando sobre la circunstancia logramos fabricarnos, construirnos. . . es el mundo, horizonte vital" […]. El horizonte

vital está estrechamente relacionado con el horizonte histórico […]: los pueblos se forman, en rigor, dentro de "horizontes"."

"...solo nuestras viejas casas y sus métodos permanecen. […]...su profunda inadaptación a nuestra vida. Pero lo cierto es que la insatisfacción de nuestra vida cotidiana se debe en gran parte a esta incapacidad de nuestra casa y nuestra ciudad para vivir en armonía con la naturaleza.

Una casa es un espacio [cotidiano] para el espíritu […] un lugar presidido por la relación con la naturaleza: el sol, el aire y la contemplación del paisaje forman parte de ella. Es también un conjunto de herramientas para el bienestar, y debemos esperar de ella el nivel de confort que tiene nuestro automóvil o un electrodoméstico […].

La ciudad debe ser un ser armónico con la naturaleza, la máxima expresión de esta relación con el cosmos que el hombre busca. […] cada tiempo a su modo, con los límites impuestos por sus medios materiales."

. . . . . .

Ramón Araujo. *Casas en serie*. Tesis Doctoral. Director: Salvador Pérez Arroyo. Universidad Politécnica de Madrid 1992.

"Los humanos somos la única especie que toma de la tierra amplias cantidades de nutrientes necesarios para procesos biológicos pero que rara vez los devuelve en forma reutilizables"

. . . . . .

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.91.

"[…] Cities matter! They will account for approximately 90 per cent of global population growth, 80 percent of wealth creation, and 60 per cent of total energy consumption. Unfortunately, most cities are made up of grim energy-intensive, sprawling and isolated "super blocks" connected by congested and polluted highways. We strongly believe that we need to reinvent our thinking about cities by applying "mass customisation thinking" to this domain."

. . . . . .

Kent Larson. *From mass customisation of goods and services to mass customised cities: a global imperative*. En A.A. Piroozfar y Piller. *Mass customisation and personalisation in architecture and construction*. London, New York : Routledge 2013. pp. XVII a XXI.

1.1. OPORTUNIDAD

Actualmente asistimos a un doble fenómeno. Por un lado, el crecimiento vertiginoso de las ciudades de los países emergentes; por otro, el abandono de ciudades que hace unos años eran consideradas grandes potencias económicas. Si además añadimos las grandes migraciones que se están produciendo por razones sociopolíticas, económicas o ambientales, estamos en condiciones de reflexionar sobre los sistemas constructivos a emplear en nuestras edificaciones en un futuro inmediato.

El fenómeno de la migración no es algo nuevo. Desde que los primeros humanos empezaron a salir de África, nuestra especie ha estado en constante movimiento. Lo que caracteriza hoy en día el crecimiento y abandono de los asentamientos humanos es la velocidad con la que sucede, y la ingente cantidad de recursos que consume.

La ciudad se expande rápidamente, y el plazo necesario para amortizar lo construido supera el periodo de vida útil de los nuevos edificios. Es entonces cuando la ciudad se vuelve obsoleta económicamente para sus habitantes.

Desde las áreas industriales punteras en Estados Unidos hasta las regiones localizadas en los países más saneados económicamente del centro de Europa, la deficiente gestión económica ha convertido a algunas ciudades del mundo en zonas fantasma. Al mismo tiempo, las grandes urbes de China, Brasil, India o los países del sureste asiático, han experimentado en los últimos tiempos un crecimiento desmesurado requiriendo la construcción de millones de viviendas al año. Esta dinámica obliga a superar los sistemas empleados para la construcción de edificios de manera masiva a lo largo del siglo pasado, basados principalmente en

el empleo del hormigón armado, dando paso a otros sistemas más flexibles y que puedan ser reutilizados.

Si bien es cierto que actualmente el proceso de demolición de la mayoría de los edificios pasa por el reciclaje de una buena parte de residuos que serán reincorporados de nuevo al proceso de transformación para la obtención de materiales, encontramos que en este proceso de deconstrucción no se produce sin embargo el intento de recuperación de partes íntegras constituyentes del cuerpo construido, esto es, el desmontaje y reutilización de sus componentes.

Existe hoy la oportunidad de apostar por diseños desmontables aplicados, no sólo a sistemas genéricos independientes, sino al conjunto de un edificio, distinguiéndolos de aquellos que no lo son. Al mismo tiempo se establece la necesidad de pautar el proceso de construcción de lo desmontable, desde las primeras fases de diseño hasta la su ejecución final, incluyendo el proceso de deconstrucción.

También existe la oportunidad de volver al pasado, y remontarnos a los inicios de la arquitectura, para encontrar soluciones con alto potencial de desmontaje, ponerlas en valor y devolverlas al presente, estableciendo una amplia relación de construcciones y ejemplos. Se pretende revisar los sistemas constructivos previos a la modernidad y a la aparición de los nuevos materiales compuestos que conducirían al monolitismo y a la continuidad del objeto construido y como consecuencia, a los procesos de demolición, impidiendo un mayor desmontaje del edificio.

1.1.1. OPORTUNIDAD EN OCCIDENTE

.....

En julio de 2013 la ciudad de Detroit presentó suspensión de pagos. Esto supuso la mayor bancarrota municipal de la historia de Estados Unidos tras haber sido incapaz de mantener una década de deuda creciente y de población en descenso en medio de una profunda crisis industrial.

Fundada en 1701 y rediseñada por completo en 1805, la ciudad vivió a finales del siglo XIX su particular revolución industrial al convertirse en el centro de producción del medio oeste gracias a la extracción de materias primas y a la concentración de la mano de obra de la industria del ferrocarril. En el primer tercio del siglo XX, llegaría su primer periodo de esplendor en el que se compararía con las grandes capitales europeas. Luego se convertiría en la Ciudad del Motor, sede de empresas automovilísticas como la Ford.

Entre 1940 y 1945 cerca de medio millón de inmigrantes llegarían en busca de trabajo. Aquí nacería la clase media industrial estadounidense: el salario pagado por una de las fábricas locales daba para comprar una casa unifamiliar en los suburbios, un bote y una pequeña residencia veraniega a orillas del lago.

El súbito declive de esta próspera ciudad, que llegó a contar con 1,9 millones de habitantes en 1950 empezó a percibirse tras la crisis del petróleo, se incrementó a partir de 1985 y parecía irreversible en torno al año 2000. Durante la primera década del siglo XXI Detroit perdió el 25% de su población La mayoría de las fábricas de la ciudad ya habían cerrado durante la recta final del siglo XX.

En el año 2013, el gobierno municipal, con graves problemas de presupuesto, se vio obligado a tomar medidas extremas, llegando a retirar el alumbrado eléctrico, el suministro de aguas y la recogida de basuras de barrios enteros. Lo mismo haría con la cobertura policial y de emergencias. Las propias autoridades decidieron demoler edificios que habían quedado desocupados para evitar hacerse cargo de su mantenimiento. Muchas casas vacías fueron desmontadas o incendiadas. La cantidad de solares vacíos en pleno centro de la urbe resultaba realmente sorprendente. Un tercio del territorio de la ciudad se encontraba en estado de ruina o abandono.

Las iniciativas que se llevaron a cabo para readaptar la ciudad a las nuevas circunstancias se basaron en la destrucción de edificios. Algunos eran importantes testimonios de la memoria de la ciudad, como el *Tiger Stadium*. Se trataba de reducir la superficie total de la urbe, concentrando población y servicios, ante la imposibilidad de conservarlos. Nadie nunca imaginó que la ciudad tuviera que menguar, con lo que se emplearon estrategias inmediatas para redimensionar la metrópolis, como la demolición o el abandono.

La bancarrota Detroit de acabaría siendo el primer paso en la dirección correcta hacia su recuperación. La restructuración de la deuda y el plan de austeridad impuesto por

los acreedores acabarían funcionando mejor de lo previsto, situando a la ciudad en un camino seguro hacia su reconstrucción.



1.1.1
Packard Automotive Plant. Detroit. Michigan. Fuente: www.dallasnews.com 29/07/2013.

La planta de Packard Automotiv se inauguró en 1903. En su apogeo, el complejo empleaba a 40.000 personas y llegó a tener una extensión de 330.000 m2. La planta produjo automóviles Packard desde 1903 hasta 1956. La mayor parte de la propiedad fue reclamada por la ciudad de Detroit en 1994 después de que los antiguos propietarios no pagaran los impuestos atrasados. En 2010, el último inquilino restante, Chemical Processing, anunció su intención de desalojar las instalaciones después de 52 años. La demolición del complejo comenzó en octubre de 2022, y una segunda ronda se iniciaría en enero de 2023, sin embargo, todos los esfuerzos de demolición por parte de la ciudad de Detroit se detuvieron en aquel momento.

1.1.2. OPORTUNIDAD EN ORIENTE

.....

Gunkanjima, una pequeña isla deshabitada de poco más de un kilómetro cuadrado de la Prefectura de Nagasaki en Japón, fue durante casi cien años el próspero asentamiento de los obreros que explotaron su mina de carbón.

Los primeros habitantes llegarían a la isla en 1887, y la explotación industrial comenzaría en 1890 de la mano de Mitsubishi. La producción de la mina creció de manera espectacular en la primera mitad del siglo XX, llegando a producir casi medio millón de toneladas al año alrededor de 1940.

Como consecuencia de esto, la isla pasó de estar deshabitada a tener una población de tres mil personas, con lo que Mitsubishi consideró la opción de construir viviendas estables para sus habitantes y de establecer todos los servicios asociados necesarios, creando una pequeña ciudad industrial. En la cima de su prosperidad económica, en torno a 1960, la isla contaba con más de cincuenta edificios de apartamentos y una población de más de cinco mil habitantes.

Los edificios de la isla se construyeron en su mayoría con hormigón armado para garantizar su resistencia ante los tifones y otras inclemencias del tiempo dada su proximidad con el mar. Los edificios llegarían a tener hasta diez plantas de altura. Un laberinto de pasillos y escaleras conectaba todos los bloques de apartamentos y servía como sistema de circulación de la isla. Para dar cabida a una población en pleno crecimiento en una isla tan pequeña se llegó a construir en cada centímetro cuadrado del terreno, dando como resultado una mole acorazada y convirtiéndose en el lugar más densamente poblado del mundo.

A finales de los años 60 el petróleo comenzó a sustituir al carbón, con lo que las minas de la isla fueron cerrando poco a poco. Mitsubishi redujo su plantilla trasladando a algunos obreros a otras industrias. El 15 de enero de 1974 la empresa anunció el cierre de la mina. En poco más de tres meses Gunkanjima quedó completamente abandonada. Los monolitos de hormigón construidos para albergar a la población de la ciudad quedaron vacíos, sufriendo un deterioro importante. Hoy, Gunkajima es una isla fantasma, con sus esqueletos en ruinas cayéndose a pedazos.



1.1.2
Jigokudan (地獄段)
Escaleras. Gunkajima. Japón.
Fuente: www.gakuran.com
25/08/2024.

El daño estructural de los edificios de Gunkajima resulta impresionante. Las calles están llenas de material caído desde las fachadas, de cristales, de maderas de vigas y balcones, de cables y de trozos de tuberías. Muchas casas se pueden contemplar tal y como las dejaron sus habitantes: con los platos en el fregadero, las estanterías con sus utensilios y los electrodomésticos como si acabaran de ser utilizados.

1.1.3. OPORTUNIDAD EN EL JAPÓN CLÁSICO

.....

En su búsqueda de la "pura japonesidad", Bruno Taut manifestaba su convicción de que la cultura nace de las condiciones locales, climáticas y sociales de cada entorno. En su ensayo titulado "*¿Getemoto o Haikara?*" (*Getemono oder Haikara?*, 1936) expresaba:

"[...]Japón debe desarrollar todo partir de las condiciones del propio territorio. Nada puede ser pura imitación, ni con referencia a lo que es antiguo, ni tampoco a lo que es moderno y occidental.".

Japón fue siempre una región cubierta de bosques. El rico suelo de estas islas volcánicas siempre produjo una interminable variedad de árboles y plantas, proporcionando abundante madera. Como en otros muchos lugares de la tierra donde la madera existía en cantidades suficientes, ésta fue siempre la materia prima principal debido a su facilidad para ser trabajada. El uso de los recursos disponibles en este archipiélago del Pacífico dio como resultado una manera de construir y de habitar muy diferente a la que podemos encontrar en la mayor parte del continente europeo, cuyas ciudades, hechas de piedra o arcilla, pretenderían durar eternamente.

El entorno construido japonés siempre mostró su preocupación por la integración en su entorno natural. No solo las construcciones estaban hechas del mismo material natural que formaba el ambiente que las rodeaba, sino que además se asentaban en el terreno tomando la mayor ventaja posible. Las técnicas de construcción en madera llegaron a desarrollarse enormemente. Estructuras flexibles de postes y vigas de madera enlazados, y ligeras paredes no portantes, móviles o fijas, se empleaban en prácticamente toda construcción. Las juntas de una estructura tradicional permitían su montaje sin utilizar clavos, lo que también posibilitaba su desmontaje periódico.

Recursos, cultura y hábitat construido irían de la mano en la formación de las ciudades del antiguo Japón. Durante más de novecientos años entre 645 y 1590, cinco capitales diferentes (Naniwa, Fujiwara, Heijō, Heian y Edo) se asentarían sucesivamente en el territorio en distintos lugares siguiendo un plan preconcebido para cada una de ellas basado en tramas rectangulares orientadas importadas del continente asiático.

El cambio de Emperador traía consigo el cambio de capital. Los recursos empleados y las técnicas aplicados ofrecieron la posibilidad de que estas ciudades permanentes fueran desmontadas, pasando sus terrenos a ser de nuevo tabula rasa, y sus principales edificios recuperados, trasladados y reensamblados de nuevo en la nueva capital.

Templos como Yakushi-ji, construido en Fujiwara en el año 698, o Hōkōji, construido en el valle de Asuka en el año 596, fueron desmontados pieza a pieza bajo la orden de



1.1.3.a
Hida No Takumi Bunkakan
(飛騨の匠文化館)
Furukawa. Japón.
Fotografía de la autora.
13/12/2014.

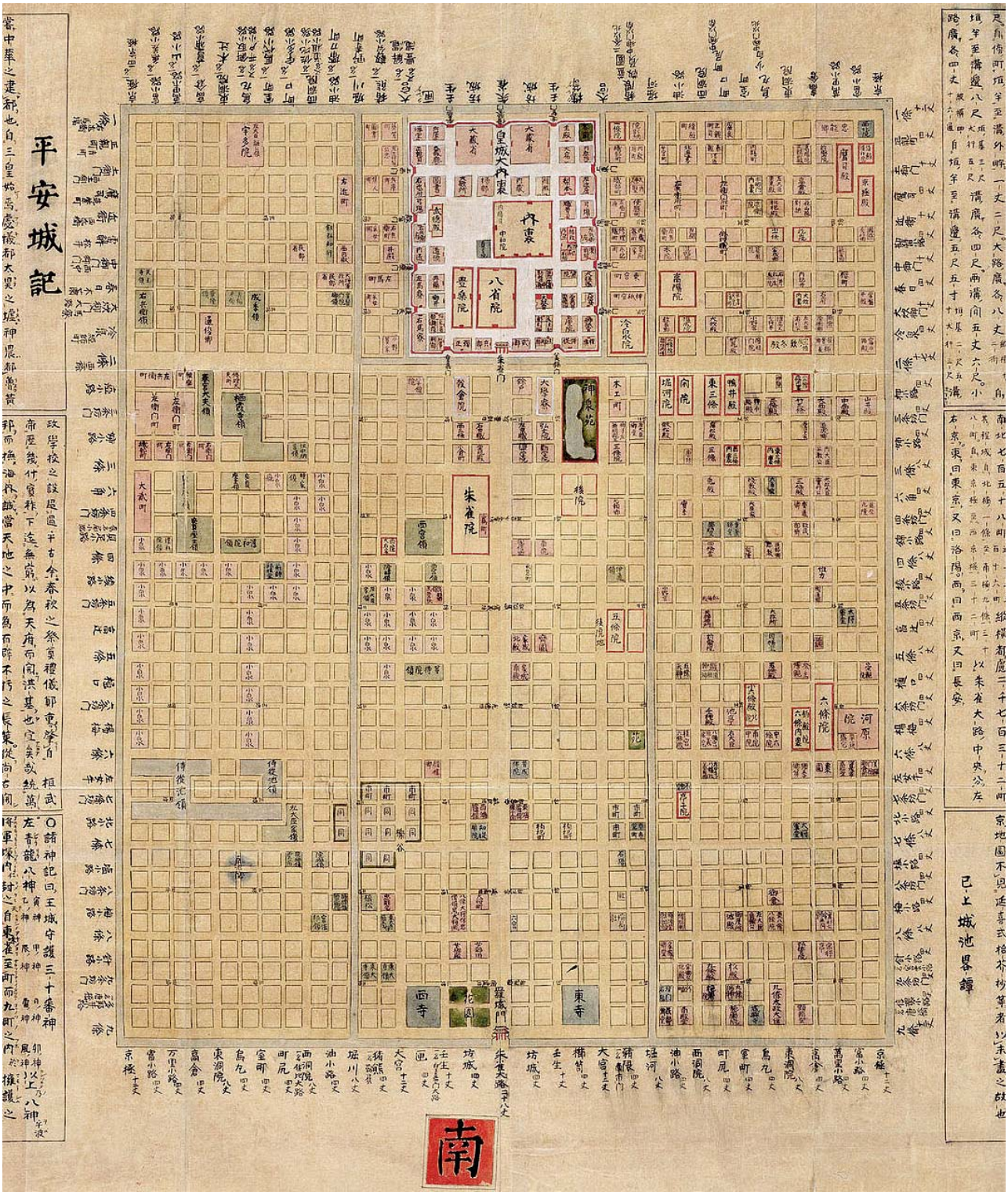
La región de Hida es una zona montañosa del norte de la prefectura de Gifu, donde se encuentran Furukawa y Takayama. Durante siglos, la región ha sido famosa por su madera de alta calidad y por las habilidades de los carpinteros locales. El Hida No Takumi Bunkakan (Takumikan Craft Museum) se construyó en 1989 y está dedicado a la artesanía tradicional de Hida. El edificio fue construido por carpinteros locales utilizando madera local y técnicas de carpintería tradicionales que no utilizan clavos. En el museo se exponen herramientas tradicionales de carpintería y los distintos tipos de madera que se utilizan.

la Emperatriz Jito, trasladados y levantados con la misma estructura y planta en la nueva capital situada a veinte kilómetros hacia el norte, Heijō, en el año 718. También el Palacio de Fujiwara fue trasladado a la nueva Heijō recuperando y reutilizando sus piezas de madera y sus tejas y completando la construcción con nuevas secciones traídas en balsas. Del mismo modo, la Casa de Te de Fushimi Inari Shrine fue trasladada desde el Palacio Imperial en 1641, y el Kokin Denju no Ma de la mansión del Príncipe Hachijōnomija Toshihito en la ciudad de Kukamoto fue movida a su Casa de Te en Kaidemmuraen en la Kan'ei era entre 1624 y 1644, y posteriormente de nuevo a su actual ubicación durante el periodo Meiji (1868-1912) [9] .

Y así encontramos muchos otros ejemplos. Las distintas capitales, reflejo del poder y de la estabilidad del Imperio Japonés, estaban sin embargo formadas por construcciones ligeras y desmontables preparadas para ser trasladadas en cualquier ocasión. El afán constructor y deconstructor de los edificios que formaban las ciudades del antiguo Japón no sólo tuvo lugar en las capitales del Imperio y también se ha ido desarrollando, con otras motivaciones y en otros contextos, en otros enclaves del archipiélago, llegando esta práctica hasta los tiempos modernos.

Erigidas para perdurar a lo largo del tiempo, las técnicas de construcción en seco empleadas en estas construcciones tradicionales ofrecieron la posibilidad de su desmontaje, dando lugar a un proceso reversible. Como consecuencia de ello, las estructuras pudieron ser retiradas del lugar donde fueron levantadas por primera vez posibilitando su reutilización y montaje en otra ubicación, permitiendo de este modo su conservación.

9
Periodo de la historia de Japón que tiene lugar entre 1867 y 1912. En 1867 muere el emperador Komei, y el nuevo emperador Mutsu-hito elige el nombre de Meiji (gobierno de la luz) para referirse a su reinado. Sus principios fueron restablecer la autoridad del Emperador y la occidentalización del país, poniendo fin a la época feudal y desarrollando las técnicas de la Primera Revolución Industrial.



1.1.3.b
Mapa de Heian-kyō (平安京). Japón. (Fuente: Geographicus Rare Antique Maps. 1696).

Heian-kyō fue el nombre original de la actual ciudad de Kioto y fue desde el año 794 hasta 1868 la residencia del Emperador de Japón y la capital del país. La ciudad se asentaría sobre un valle y sería trazada en forma de un tablero similar al ajedrez, imitando a la capital china de la Dinastía Tang, Chang'an. Poseía un área rectangular de aproximadamente 4,5 km (de este a oeste) y de 5,2 km (de norte a sur).

1. 2. MUTABILIDAD

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Mutabilidad

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Del lat. *mutabilĭtas, -ātis.*

1. f. Cualidad de mudable -que cambia o se muda con gran facilidad-.

.....
Oliver Herwig. *Featherweights. Light, Mobile and* Floating Architecture. Munich : New York : Prestel, 2003.

"W. Sobek: estamos completamente convencidos de que los nuevos edificios no deben ser sólo resultado de la tecnología, deben proteger los recursos, ser ligeros, transparentes y efímeros."

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo II. p. 304.

"El concepto de novedad es filosóficamente interesante en cuanto que es uno de los conceptos básicos implicados en la cuestión siguiente: "¿Hay nunca algo que no hubiese de algún modo preexistido?" Esta cuestión se descompone a su vez en diversas otras cuestiones, tales como: "¿Hay nunca alguna propiedad o cualidad que no hubiese preexistido?"; "Dadas dos entidades, ¿puede surgir de su combinación algo distinto, especialmente alguna cualidad o propiedad distinta de lo que se halla en las entidades mismas?". […] En ciertos casos puede admitirse que la novedad de que se trata es la novedad de "cosas", "substancias", "entidades", etc. En otros casos, en cambio, se trata, o se trata principalmente, de la novedad de cualidades, propiedades, etc. La mayor parte de los filósofos han admitido, explícitamente o no, que hay novedad; lo único que se trata de hacer es explicar cómo ha surgido o puede surgir."

.....
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.14.

"[…] todas las hormigas del planeta, en conjunto, suman una biomasa mayor que la de los humanos. Las hormigas han sido increíblemente industriosas durante millones de años. Y, sin embargo, su productividad es beneficiosa para las plantas, los animales y el suelo. La industria humana ha funcionado a pleno rendimiento apenas algo más de un siglo, pero ha provocado el declive de prácticamente todos los ecosistemas del planeta en mayor o menor grado. La naturaleza no tiene un problema de diseño. Lo tenemos nosotros."

.....
Pekka Heikkinen. Professor of Wood Construction. Aalto University. *The challenge of wood architecture*. Ja 89 The japan architect. Wooden architecture. Spring 2013.

"The history of building in wood is so long that the properties of wood and its impact on people and the environment are known through and trough; this is extremely important in this age of modern, synthetic materials."

"Los materiales que son habitualmente considerados como recursos, las materias primas, se diferencian del resto de los que forman la corteza de la tierra a partir de presentar una cierta composición u orden que resulta adecuada para la utilidad final buscada en el producto que se fabricará a partir de ellos."

. . . . . .

Gerardo F. Wadel. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* Tesis doctoral. Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande. Universitat Politècnica de Catalunya 2009. p 23.

"The crucial question is whether the identity of form takes priority over the authenticity of the material. [...] Whereas in Europe the mandate "preserve, do not restore!" is pretended, in Japan the quest for the original form has always overshadowed other appoaches."

. . . . . .

Siegfried Enders, N. Gutschow. *Hozon: Architectural and Urban Conservation in Japan*, Edition Axel Menges. 1998, p.55

1.2. MUTABILIDAD

.....

La materia de nuestro mundo está en continuo movimiento. El ojo humano, sin embargo, incapaz de percibir fenómenos excesivamente pausados o con velocidades extremas, no puede verlo y se conforma con imaginar que todo lo sólido que nos rodea es estable y está quieto. Pero existen fuerzas internas entre los átomos de la materia inanimada que podrían llegar a mover cualquier cuerpo. Y también tensiones externas que se dan en nuestro medio natural, que aplicadas sobre un cuerpo inerte de manera continuada y durante largos periodos de tiempo, llegan a modificar de manera sustancial su aspecto.

Cualquier organismo vivo está diseñado para reemplazar sus unidades fundamentales, las células, varias veces a lo largo de su existencia. El cuerpo humano tarda en ser renovado por completo entre siete y diez años. La piel, que es la más expuesta, se regenera cada tres o cuatro semanas, mientras que los huesos pueden tardar varios años en hacerlo.

Vivimos un proceso permanente de reposición de nuestras estructuras corporales sin perder nuestra identidad y sin ser muy conscientes de ello. Además, el carácter circular de los procesos que se dan en la naturaleza permiten aprovechar los residuos de los organismos, que pasan a ser inmediatamente alimento.

Esto ha pasado también con la arquitectura desde siempre. Después de la destrucción de edificios por abandono, guerras, incendios o desastres naturales, los elementos constructivos en buen estado de piedra y madera se ha reutilizado para nuevas construcciones. Existen infinidad de ejemplos documentados que así lo certifican.

El proceso de transformación de la materia por parte del hombre, en sus distintas escalas, es también un proceso continuo y fluido que provocará cambios permanentes en las entidades creadas a lo largo de su existencia. En la mirada obligada a la naturaleza, y de la misma forma que sucede en ella, resulta hoy necesario que nuestras construcciones puedan transformarse y sustituir sus componentes materiales. Y esto puede suceder de manera parcial en tareas de renovación o adecuación a nuevas configuraciones, o totalmente al ser desmontados y retirados sin dejar apenas huella en el paisaje.

Atendiendo al carácter circular de lo natural, y convirtiéndonos en reflejo de ello, los componentes de aquello construido por el ser humano deberán además poder ser recuperados e integrados nuevamente en la cadena de producción para ponerse al servicio de una nueva construcción.

1.2.1. MUTABILIDAD ORGÁNICA

.....

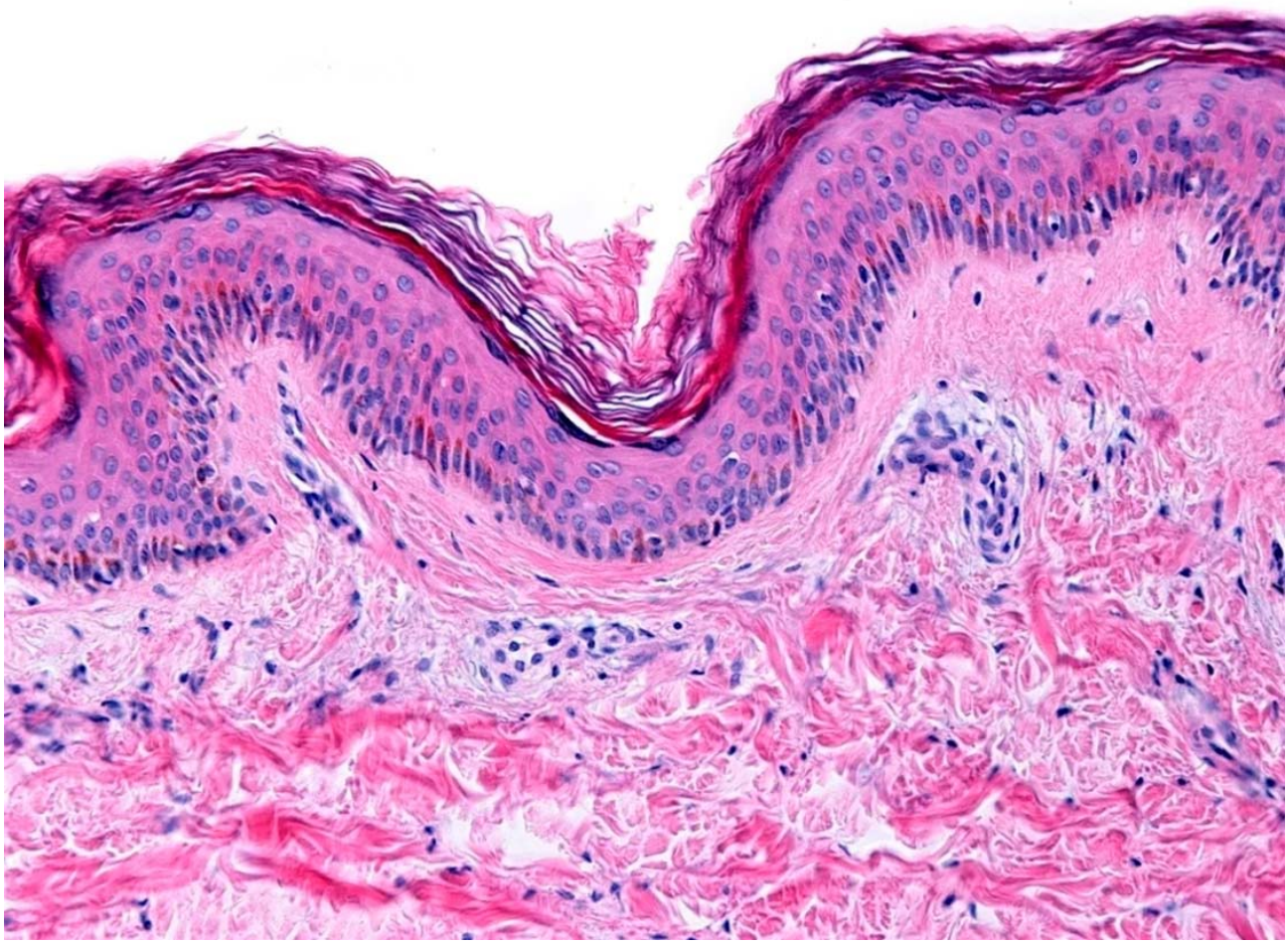
> "Para un biólogo, el cuerpo viviente no difiere de un puente de piedra más que por la rapidez de su renovación".[10]

10
Bruno Latour *París, ciudad invisible.* 2006.

La piel humana es el órgano más grande, extenso y pesado del cuerpo. Supone alrededor del 10% de la masa corporal total de un adulto medio y su superficie es de aproximadamente 1,8 m2. Está compuesta por varias capas. La más externa, y por tanto la capa visible, es la epidermis, compuesta de células llamadas queratinocitos hechas de queratina, una sustancia dura que también forma el cabello y las uñas.

En el nivel más bajo de la epidermis, donde ésta se une con la siguiente capa, la dermis, crecen los nuevos queratinocitos. Estas nuevas células de la piel se abren camino gradualmente hacia la capa superior. Cuando llegan a la zona más alta se degradan. La capa superior que forman las células muertas se llama estrato córneo. Finalmente, las células muertas de este estrato se desprenden de la epidermis y se caen, dejando espacio para las nuevas células. Las células nuevas tardan más o menos un mes en llegar a la capa superior, lo que significa que la piel de un ser humano de dentro de un mes será completamente nueva en comparación con la piel que tiene en este momento.

El cuerpo humano tiene aproximadamente 1,6 billones de células cutáneas. De entre todas estas, de 30.000 a 40.000 se caen de nuestro cuerpo cada hora. Es decir, que en un día podemos perder casi un millón de células de este tipo, y en un año más de cinco kilos de piel. Todas esas células muertas, que se desprenden de la piel como escamas, pasan a formar parte del polvo que se acumula por toda nuestra casa. Y son precisamente esas escamas las que pasan a ser inmediatamente el alimento de los ácaros del polvo que viven en nuestro hogar.



1.2.1
The Appearance of Human Skin. Igarashi Takanori, Nishino Ko, Nayar, Shree. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*. 3. 2007. p. 95.

La imagen muestra una microscopía óptica de epidermis teñida.
La estructura histológica básica de la piel es igual en todos los vertebrados. De manera general desde la superficie hacia la profundidad la piel está formada por tres capas: la epidermis, la dermis, la hipodermis.
Cada una de las capas tiene funciones y componentes diferentes.
Dentro de la dermis suelen encontrarse los anexos tegumentarios o faneras, incluso aquellos de origen epidérmico, como el pelo.

1.2.2. MUTABILIDAD NATURAL

.....

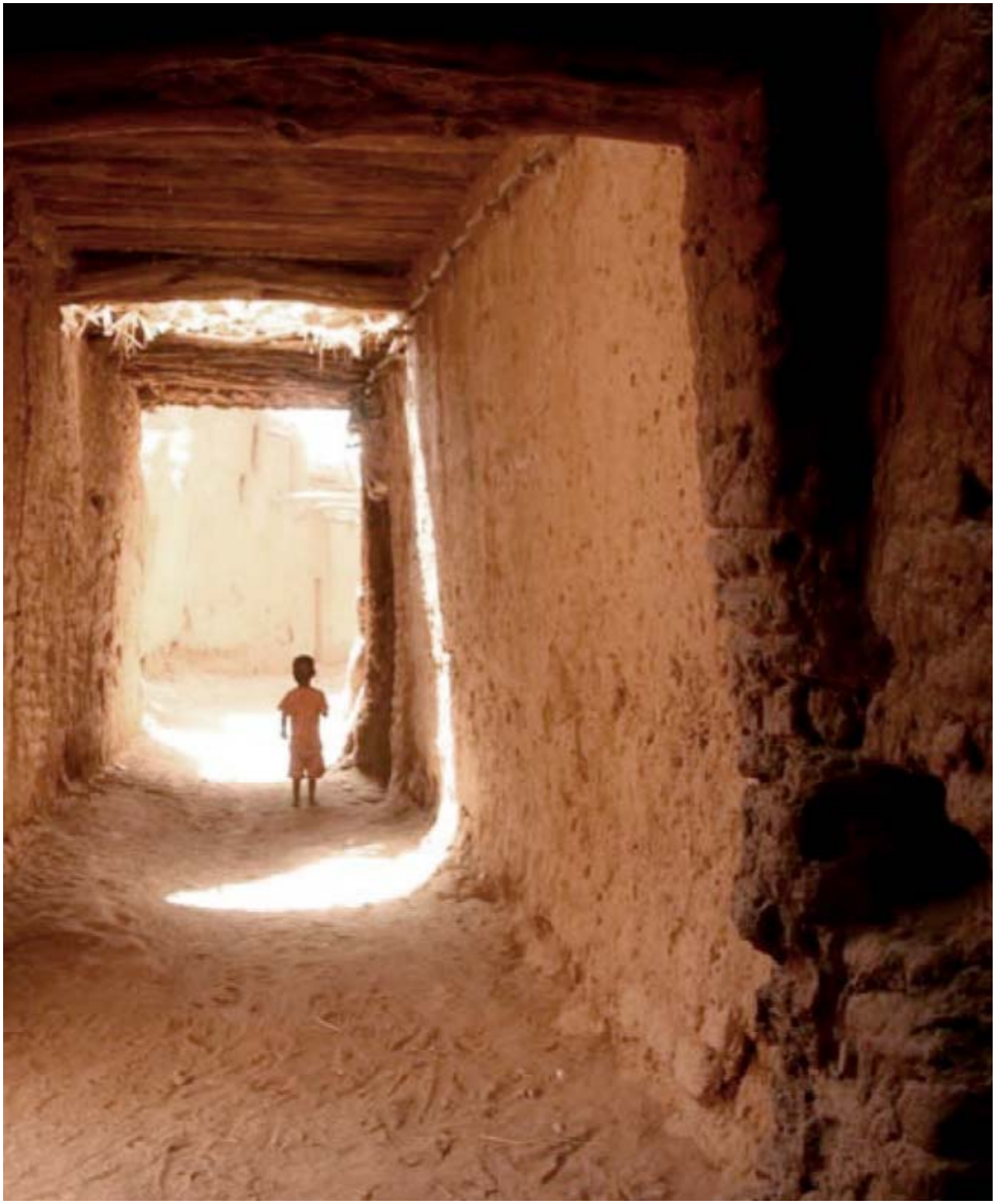
En el ámbito de la construcción, existen interesantes ejemplos de renovación natural.

En los poblados construidos con tierra del sur de Marruecos el entorno es capaz de recuperar los recursos que le fueron extraídos. Los materiales y elementos vuelven al medio natural reintegrándose en el entorno. Del mismo modo ocurre con las construcciones basadas en el empleo de elementos ligeros vegetales. La naturaleza se encargará de recuperar aquello que fue prestado. Se trata de casos de indiscutible renovación ambiental, y la "deconstrucción" puede realizarse sin la intervención del hombre.

Emulando las etapas de floración, decadencia y renacimiento de la naturaleza, integradas en un ciclo biológico en el que los desechos son alimento, todo aquello transformado y creado por el hombre en cualquier ámbito y a cualquier escala ha de ser reincorporado, según la cultura japonesa, de nuevo a un ciclo de vida.

El acercamiento al entorno físico construido se basa en este proceso continuo de cambio y renovación de la existencia. Los recursos disponibles en su archipiélago, fundamentalmente madera, paja y bambú, trabajados por metódicos carpinteros aplicando la mejor de las técnicas de cada momento, favorecieron este acercamiento.

Del trabajo de estos artesanos y maestros se obtenían piezas relativamente ligeras y fáciles de manejar que eran empleadas para el montaje de estructuras flexibles de postes y vigas de madera con delgadas paredes no portantes, móviles o fijas, en las que todas las piezas quedaban unidas mediante juntas de madera, sin utilizar ningún clavo, lo que posibilitaba su desmontaje y reconstrucción periódicas. Los edificios optaban así a una segunda vida.



1.2.2
Calle en M'Hamid, Valle del Drâa, sur de Marruecos. *Con los pies en la tierra*. Terrachidia. 2013. p.1.

Algunos materiales tradicionales aún hoy son considerados "materiales pobres". Es fundamental que estos materiales pierdan este etiquetado. En los casos de la piedra y la madera este objetivo se ha cumplido claramente hace años y se ha normalizado su utilización. El caso de la tierra es diferente. La normalización del empleo de este material aún está pendiente.

1.2.3. MUTABILIDAD E IDENTIDAD

.....

> "XXIII.- La nave de treinta remos en que con los mancebos navegó Teseo, y volvió salvo, la conservaron los Atenienses hasta la edad de Demetrio Falereo, quitando la madera gastada y poniendo y entretejiendo madera nueva; de manera que esto dio materia a los filósofos para el argumento que llaman aumentativo, y que sirve para los dos extremos, tomando por ejemplo esta nave, y probando unos que era la misma, y otros que no lo era."[11]

11
Teseo. 23.1. Plutarco, 96-117 d.C.

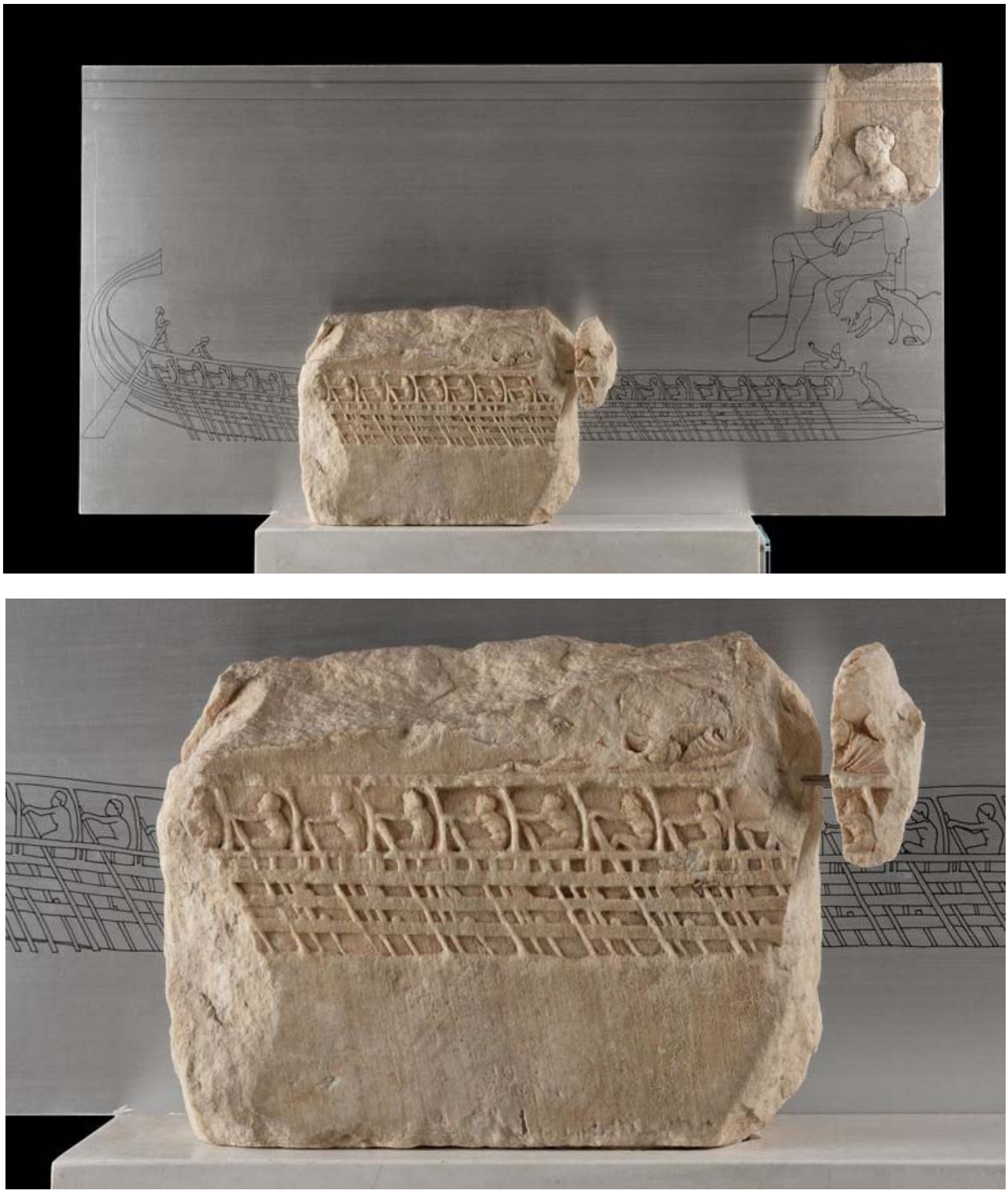
Si a un objeto se le reemplazan todas sus partes, ¿sigue siendo el mismo objeto? Esta es la cuestión que plantea la paradoja de Teseo. La leyenda que da origen a la paradoja, recogida por Plutarco, relata que en una ocasión Teseo regresaba de la isla de Creta en barco junto con su joven tripulación ateniense. El barco era bastante longevo, y durante el largo camino fue requiriendo reparaciones, con lo que las tablas estropeadas se fueron retirando siendo reemplazadas por unas nuevas más resistentes. En otras ocasiones las piezas eran recicladas y se colocaban en partes diferentes del barco.

Cuando Teseo y sus tripulantes llegaron a puerto, el barco había sido completamente modificado, no quedaba una sola pieza que fuese del navío en el que salieron de la isla de Creta, o en su defecto las piezas habían sido recicladas y colocadas en lugares distintos, como si fueran piezas nuevas.

Este particular acontecimiento suscitó una pregunta por parte de los filósofos de aquel tiempo: "¿el barco en el que Teseo y sus tripulantes han llegado a puerto es el mismo barco en el que han salido de la isla de Creta?". Además, se podría formular otra pregunta adicional: si las partes de barco reemplazadas se guardasen y se emplearan para reconstruir de nuevo el barco, ¿cuál sería el barco original de Teseo?

El filósofo Aristóteles responde a estos interrogantes diferenciando el tipo de causa: si el objeto mantiene su diseño formal, es decir, su aspecto, sigue siendo el mismo objeto; mientras el objeto mantenga su materia inicial -causa material-, se puede seguir considerando el mismo objeto; si un cuerpo sigue manteniendo el fin para el que fue diseñado -causa final- seguirá siendo el mismo objeto; y, finalmente, mientras los métodos utilizados en la reparación y sustitución de las piezas de un cuerpo se hagan siguiendo el protocolo establecido para ello -causa eficiente-, el objeto seguirá siendo el mismo que antes con las modificaciones diseñadas para el mismo.

El filósofo griego Heráclito ofrecería una visión opuesta refiriéndose a la identidad como cualidad de idéntico y afirmando que ningún hombre puede cruzar el mismo río dos veces, porque ni el hombre ni el agua serán los mismos.



1.2.3. a
Bajorrelieve representando un trirreme: el bajorrelieve Lenormant. Fuente: www.theacropolismuseum.gr

La paradoja de Teseo está basada en un mito de la Antigua Grecia y nos hace pensar en la idea de la identidad. Existen varios ejemplos actuales que ilustran esta paradoja, como la reparación de un ordenador en el que se reemplazan una serie de elementos a nivel físico (hardware) y de programación (software) que son bastante significativas para el funcionamiento del equipo. O el caso de la reparación de automóviles tras un siniestro, en la que casi todas las piezas son reemplazadas.

El filósofo John Locke reflexionaría de manera parecida refiriéndose a su calcetín favorito al que le sale un agujero, ¿podría seguir siendo el mismo calcetín mucho tiempo después, incluso cuando todo su material hubiera sido zurcido con parches?.

Entre estas cuestiones, cabe recordar que, en otras culturas como en la japonesa, se mantiene la creencia de que es la entidad espiritual de los objetos es lo que debe ser preservado, y no su apariencia física. Es su espiritualidad lo que les otorga su identidad.

De hecho, los edificios más antiguos que se conservan en Japón han cambiado sus piezas en innumerables ocasiones. Al preguntar a sus propietarios te asegurarán que sigue siendo el mismo. No es raro encontrar un edificio con todas sus partes de una reluciente madera nueva que, sin embargo, tenga varios siglos de antigüedad.



1.2.3.b
Base de pilar del *Kairo* (galería perimetral) parcialmente restaurado. Templo de Horyu-ji, Nara. 607 d.C. Fotografía de la autora. 15/12/2014

En el ámbito que nos ocupa, la paradoja de Teseo también se puede aplicar a las arquitecturas antiguas de Japón, que son permanentemente renovadas mediante la sustitución de sus piezas. En el Templo de Horyu-ji, construido por primera vez en el año 607 d.C., se pueden identificar varias reposiciones de madera en algunos de sus elementos, como en este pilar del Kairo (galería perimetral). Esta galería, junto con la pagoda (Goju no To), el hall interior (Kondo) y la puerta interior (Chumon) de Horyu-ji, son consideradas las estructuras de madera más antiguas que existen en el mundo.

1.2.4. MUTABILIDAD Y RECONSTRUCCIÓN

.....

Durante la Segunda Guerra Mundial, los bombardeos aliados destruyeron unos cuatro millones de viviendas y redujeron a escombros numerosas fábricas de Alemania. De acuerdo con las estimaciones, en Alemania había más de 400 millones de metros cúbicos de escombros tras el final de la guerra. Las *Trümmerfrauen* fueron aquellas mujeres que se dedicaron a limpiar y a reconstruir las ciudades alemanas y austriacas tras la guerra mediante la reutilización de los escombros de los edificios bombardeados. Las 'mujeres de los escombros' tenían entre 15 y 50 años, y entre ellas abundaban mujeres viudas con niños.

El trabajo principal consistía en desmontar los trozos de muro de los restos de los edificios con cabestrantes manuales o picos sin romper los ladrillos, para poder reutilizarlos en reparaciones o nuevas construcciones. Cada ladrillo tenía una dimensión de 25x12x6,5 cm. Los ladrillos se transportaban a mano desde las ruinas hasta la acera mediante una cadena humana. Allí se colocaban en soportes de madera y se limpiaban de restos de mortero con una piqueta. Los ladrillos limpios se apilaban en pilas de 200 unidades. Las mujeres de los escombros trabajaban bajo cualquier condición atmosférica en grupos de entre 10 y 20 personas conocidos como *Kolonnen* (columnas).

Inicialmente fueron las empresas que recibieron el encargo de eliminar los escombros tras el final de la guerra las que dieron trabajo a estas mujeres. En 1951 se fundó en la zona de ocupación soviética el Nationales Aufbauweerk, organismo que coordinaba el trabajo de las *Trümmerfrauen*. En la República Alemana se continuaron los trabajos de desescombro como trabajos de emergencia.





1.2.4
Trümmerfrauen en Dresden. 1945. Fotografía de Erich Höhne y Erich Pohl.

Trümmerfrauen o "mujeres de los escombros" limpiando ladrillos para la reconstrucción en Alemania.

1. 3. DURABILIDAD

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Durar

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Del lat. *durāre*, de *durus* 'duro'.

1. intr. Continuar siendo, obrando, sirviendo, etc.

2. intr. Subsistir, permanecer.

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo II. p. 786.

"Los griegos tenían dos términos para designar el tiempo: **αἰών** y **Κρόνος** . […] **αἰών** designaba en muchos autores griegos el tiempo de duración de una vida individual, quizá por suponerse que este tiempo está ligado a la persistencia de la fuerza vital que hace ser al individuo. Por su lado, **Κρόνος** significaba duración del tiempo, y de ahí tiempo en todo su conjunto y aun tiempo infinito. […] Los hebreos "conocieron" el tiempo y determinaron, o midieron, las grandes unidades de tiempo (las épocas del año) mediante la posición del Sol en el espacio; y las "pequeñas" unidades de tiempo (el día y la noche; las diversas horas del día y de la noche) por la cantidad de "luz" u "oscuridad". Pero, junto a ello, concibieron el tiempo como una serie de "percepciones temporales" en forma de "latidos" (regha'), "interiorizando" de este modo el tiempo y convirtiéndolo en lo que se llama "duración" y "temporalidad". Los griegos "conocieron" el tiempo a base de los movimientos de los cuerpos celestes, y tendieron a considerar el carácter cíclico —y, por tanto, "repetible"— de tales movimientos. Junto a ello, concibieron el tiempo como una serie lineal dentro de cada ciclo, y tal serie lineal como un conjunto de "presentes"."

.....
Armelle Lavalou. *Conversaciones con Jean Prouvé*. Gustavo Gili. 2005. p. 47.

"La idea consistía en construir casas efímeras, disponibles para una generación. Nunca se me ocurrió que, al cabo de cuarenta años, estuvieran todavía habitadas."

.....
Pekka Heikkinen. Professor of Wood Construction. Aalto University. *The challenge of wood architecture*. Ja 89 The japan architect. Wooden architecture. Spring 2013.

"The most important guidelines for designing a long-lasting timber building that weathers well involve three basic factors that must be understood from the start: the house must be lifted above the ground, rainwater must be led away from the house in a controlled manner, and the damaging effects of sunlight and moisture on wooden surfaces must be minimized!"

"Como consecuencia de unos ideales eminentemente formales y conceptuales, la arquitectura de nuestro tiempo tiende a crear marcos visuales que parecen surgir en un instante único del tiempo y evocan una experiencia aplanada de la temporalidad. Visión e inmaterialidad refuerzan la visión del tiempo presente, mientras que la materialidad y las experiencias hápticas despiertan la conciencia de la profundidad temporal y el continuum del tiempo. Los inevitables procesos de envejecimiento, deterioro y desgaste no suelen tenerse por elementos conscientes y positivos en el diseño, ya que se entiende que el artefacto arquitectónico existe en un espacio intemporal, en una situación idealizada y artificial ajena a la realidad vivencial del tiempo."

. . . . . .

Juhani Pallasmaa. *Materia Hapticidad y Tiempo. Imaginación material y la voz de la Materia* en El Croquis 158. El Croquis Editorial, El Escorial 2011. p. 228.

"Es más, las industrias diseñan productos con obsolescencia incorporada, esto es, para que duren aproximadamente el tiempo habitual hasta que los usuarios deciden reemplazarlos."

. . . . . .

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.93

1.3. DURABILIDAD

.....

Desde un punto de vista técnico, la durabilidad caracteriza la capacidad de los materiales y componentes para soportar cargas estáticas, cuasi estáticas y dinámicas (recurrentes o de impacto) sin sufrir daños, en el margen de la vida útil calculada y considerando las condiciones ambientales relevantes.

En un lenguaje más coloquial, es la capacidad de resistir el desgaste, deterioro o daño de un objeto, la cualidad que puede tener una cosa para permanecer funcional y en buen estado en un tiempo considerado prolongado, independientemente de las condiciones a las que se les someta (uso apropiado o uso inapropiado). Esta propiedad es un aspecto clave a la hora de valorar y entender la vida útil de los materiales que son seleccionados en los procesos de construcción, entre otros.

Si bien el tema de la durabilidad de los edificios y las construcciones es bastante amplio, dentro de este estudio tiene especial relevancia la revisión de aquellos factores que son comunes tanto en el potencial desmontaje del edificio como en la durabilidad que esa opción conlleva. Esta relación entre ambos factores está sostenida principalmente por tres aspectos que conforman los puntos claves de la misma: el impacto ambiental, la adaptabilidad y la reutilización de los materiales en la construcción.

El diseño enfocado al desmontaje de las construcciones deberá dar respuesta a varias preguntas sobre los tres aspectos mencionados: en relación al impacto ambiental - ¿Qué posibilidades presentará el edificio para proceder a su mantenimiento?, ¿Cuál será la eficiencia del edificio en relación al consumo de energía, agua, etc, en sus diferentes

fases?, ¿Qué nivel de toxicidad presentarán los materiales del edificio?, ¿Qué duración presentarán las distintas "capas" del edificio?, ¿Cuántos materiales diferentes se emplearán en el mismo?, etc-, en relación a la adaptabilidad -¿Con que facilidad se podría adaptar el edificio a otros usos?, ¿Qué capacidad de adaptación tendrá el edificio ante las condiciones climáticas locales cambiantes?, ¿Qué pasará con el edificio cuando llegue al final de su vida útil?, etc-, en relación a reutilización -¿Cómo se instalarán o conectarán los distintos sistemas que forman el edificio?, ¿Qué facilidad tendrán para ser desmontados?, ¿Sabrán las personas que derriben el edificio dentro de 100 años cómo desmontarlo?, ¿Estarán disponibles las herramientas y los medios para hacerlo?, etc-.

Si el edificio es fácil de mantener y no requiere grandes reparaciones o reemplazos durante largos periodos de tiempo, entra dentro de lo que se considera un edificio duradero. Por sí solo, ser duradero es una cualidad que ya exponemos como necesaria, pero se queda incompleta si el edificio es duradero pero no adaptable para otros usos, provocando una obsolescencia ante cambios bien por propósito del edificio o cambio de los ocupantes. La manera de contribuir por medio del desmontaje a la durabilidad es el complemento que supone el permitir que un edificio se adapte o se desmantele de una manera rápida, segura y barata cuando la función original cambie o ya no se cumpla.

En este sentido el desmontaje en paralelo es el más usado a través de una separación entre la estructura y la envolvente en busca de mayor flexibilidad.

Con edificios duraderos y adaptables, la necesidad de nueva construcción y por tanto del consumo de recursos y generación de residuos se reduce considerablemente. En el

momento del final de la vida útil de la construcción, un desmontaje sostenible es la clave para tener el mínimo impacto ambiental al reciclar y reutilizar materiales, evitando demoler. Por eso, frente a las uniones químicas, serán determinantes las conexiones de la construcción realizadas en seco, como las atornilladas o clavadas, que puedan servir durante sucesivos montajes y desmontajes.

Un edificio diseñado para el desmontaje deberá utilizar, o reutilizar, materiales de calidad, seleccionándolos según su valor futurible desde el punto de vista de la reutilización. Tenderá a tener menos variedad de materiales para reducir la complejidad y facilitar y/o estandarizar los procesos de reciclaje, así como sacar mayor ROI en forma de cantidad de material por edificio desmontado. Además, se deberá evitar cualquier material de reciclaje que finalmente resulte costoso por sus dificultades técnicas.

1.3.1. DURABILIDAD Y FUGACIDAD

.....

Nosotros, los seres humanos, somos una de los nueve millones de especies que habitan un medio en el que el Sol y la Tierra (energía y materia) constituyen los elementos fundamentales que establecen las reglas y los límites del sistema. Gracias a ellos la naturaleza nos brinda todo aquello que necesitamos para vivir y desde siempre nosotros, los hombres, hemos vivido en comunión con la naturaleza. Se trata de una cuestión de supervivencia.

El animismo en el que ya creían nuestros antepasados cazadores-recolectores hace cientos de miles de años potenciaba precisamente ese vínculo: un alma, un 'anima' [12], existía en cada lugar, fenómeno, animal o planta, lo que permitía establecer una comunicación directa y una estrecha relación de colaboración y respeto entre los hombres y el resto de seres que formaban parte de la naturaleza.

La ruptura de esta relación vendría de la mano del hombre moderno. Los avances de la ciencia y la tecnología fueron empleados para afianzar nuestra independencia respecto de la madre Tierra y centrarnos en aquello que podíamos hacer mejor que ella. Había que controlar los fenómenos más desfavorables de la naturaleza.

Ignorando la inteligencia y la experiencia acumulada por los sistemas naturales durante millones y millones de años, que habrían sido capaces de continuar proporcionándonos multitud de útiles y preciados conocimientos, el pensamiento humano moderno transformó a la naturaleza en una fuerza salvaje, hostil e imprevisible, y comenzó a someterla [13]. La naturaleza había sido creada para el beneficio del hombre y debía inclinarse ante sus necesidades, fueran las que fueran.

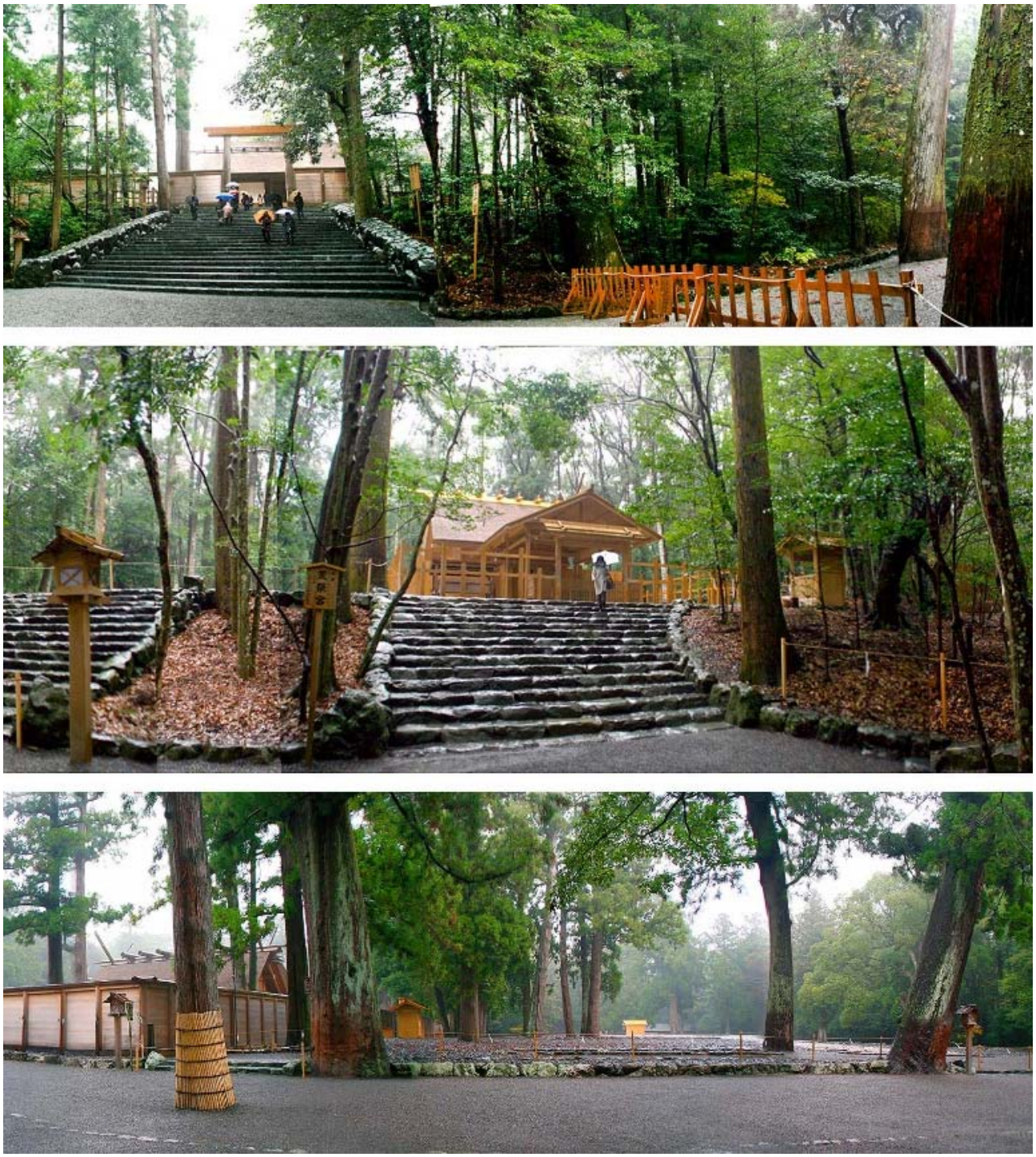
Sin embargo, en varios lugares del planeta esto no sucedió exactamente así, y la relación del ser humano con el medio natural evolucionó allí de diferente manera.

Conscientes de la limitación de su tierra y de sus recursos, los habitantes de las islas de la costa este del continente asiático desarrollaron durante decenas de miles de años una cultura basada en una aproximación muy diferente a la del hombre occidental, recogiendo y continuando la comunión animista de sus antepasados con la naturaleza. En su adoración a los lugares naturales elegidos por los dioses kami en su descenso a la tierra, como árboles, rocas, o pequeñas cascadas, las construcciones pasan a ser en muchas ocasiones estructuras efímeras levantadas únicamente para ofrecer un cobijo temporal a las distintas deidades como signo de gratitud por su existencia. Las casas son sólo un refugio temporal que al derrumbarse debe poderse montar con la mayor facilidad.

A diferencia de las imponentes construcciones de piedra que fueron levantadas a lo largo de los siglos en los distintos territorios que formaron parte de la cultura occidental europea, los templos, casas y demás construcciones de esta zona del pacífico no están hechos para perdurar.

12
'Alma': del latin *'anima'.* Diccionario de la lengua española. Vigésimo tercera edición. www.rae.es

13
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas.* Ed. Mc Graw Hill 2005, p.23.



1.3.1.a
Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮)
Fotografías de la autora. 13710/2015.

El Santuario de Ise es el santuario Shintō más importante de Japón. Una red de caminos se dispone sobre el medio estableciendo los flujos de conexión del asentamiento. Cedros y zelkovas envuelven al visitante en su subida hacia los santuarios, gruesas capas de musgo cubren las rocas que se encuentran en el recorrido y el sonido de corrientes de agua acompañan al caminante en cada paso. En estos árboles, rocas y pequeñas cascadas es donde viven los dioses (*kami*) según la creencia ancestral animista. Superior: Acceso principal al Santuario Interior (Naiku). Medio: Acceso al Santuario Menor (Amaratsuri-no-miya). Inferior: Acceso al Santuario Exterior (Geku).

Hakanai significa fugaz, transitorio, momentáneo, vano, voluble, en japonés [14]. Se refiere precisamente a la impermanencia del hombre y de todo lo que le rodea, y a su existencia más allá del nivel material de la vida. Es uno de los conceptos fundamentales que forman parte de la base de la cultura japonesa.

En nuestro contexto occidental se traduce habitualmente como 'efímero', pero es algo muy distinto. 'Efímero', del griego εφήμερος – *ephemeros*, se refiere a la duración o al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de un determinado proceso. Significa literalmente 'que tiene la duración de un solo día' [15], muy lejos de aquello que pudiera ser *hakanai* en japonés.

14
Japanese Dictionary. https://www.japandict.com/%E5%84%9A%E3%81%84.

15
Diccionario de la lengua española. Vigésimo tercera edición



1.3.1.b
Incendio de Kinkakuji, 1950. Fotografía de Frank A. Polkinghorn.

El edificio actual de Kinkakuji es una completa reconstrucción de 1955. La reconstrucción se realizó cinco años después del incendio que lo arrasó tras el ataque de un monje budista, que sobrecogido por su belleza decidió quemarlo. Este acontecimiento forma parte de la trama del libro "El templo de oro" de Yukio Mishima.

1.3.2. DURABILIDAD POR NIVELES

.....

En 1960, Habraken introduce por primera vez su teoría de la descomposición de los edificios en niveles, según la cual el arquitecto debía definir el mínimo número de elementos fijos necesarios permitiendo a la vez que los usuarios dispusieran del máximo número de opciones de cambio posibles durante la vida útil de sus viviendas. El "soporte" se distinguirá de las "unidades separables" pudiendo ser estas últimas ensambladas, alteradas y eliminadas de forma independiente. Duffy y Brand (1998) continuarán estos planteamientos incorporando el factor temporal del ciclo de vida de los componentes del edificio en la redefinición de los distintos niveles.

Hoy en día se considera que la mayoría de los edificios destinados a uso residencial, comercial, terciario, sanitario o educativo tienen una vida útil de entre 50 y 100 años; mientras que los dedicados a uso industrial, de almacenaje o de estacionamiento de vehículos se mueven entre 25 y 50 años.

En el caso de un edificio con una vida útil de 80-100 años, sin pretender una gran precisión, se considera que la vida útil de sus elementos principales es de 80 a 100 años para la estructura, y de 25 a 35 años para la envolvente, de 25 a 35 años para los acabados interiores y de 25 a 30 años para las instalaciones [16].

Parece claro que la estructura es el elemento más interesante para concentrar los esfuerzos de desmontabilidad y reutilización. En el caso de las instalaciones es distinto, éstas suponen una obsolescencia más rápida tanto por su deterioro como por la aparición de sistemas más optimizados en funcionalidad y consumos. Parece razonable pensar en su sustitución casi total en caso de una reubicación de la edificación.

16
Enrique Azpilicueta. Ponencia 'Vivienda colectiva Desmontable o la ciudad de quita y pon'. *Jornadas internacionales de investigación en construcción. Vivienda: pasado, presente y futuro. Resúmenes y actas. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. 23 noviembre 2013.*



1.3.2.b
Mass Support. Maqueta escala 1:1, 1971. Utrecht Exhibition Center.
Fuente: Curatorial Research Collective.

Maqueta a escala 1:1 presentada en el Utrecht Exhibition Center en 1971. Una versión de esta maqueta se instaló de manera permanente en Eindhoven University of Technology, donde se empleó para demostrar las posibilidades de la separación de “soporte” y “unidades separables” a los usuarios y compañías.

1.3.3. DURABILIDAD MATERIAL

.....

En relación a su comportamiento en el entorno y la protección frente al mismo, los materiales tradicionales como el hormigón, el acero, la piedra, los materiales cerámicos o la madera han probado ser materiales duraderos.

En el caso del hormigón, una correcta proporción en la mezcla de aditivos y agua, junto con una buena puesta en obra, puede hacer que este material dure siglos. El acero tendrá una excelente respuesta al paso del tiempo siempre que esté tratado (acero galvanizado o inoxidable) o recubierto de un acabado anticorrosivo. La madera por su parte, tendrá una larga vida útil en ambientes alejados de la humedad continuada, y en aquellos en que se pueda realizar un efectivo control de plagas. La piedra es resistente a la erosión, humedad y variación de temperaturas en climas adversos, al igual que los materiales cerámicos.

La compatibilidad entre diferentes materiales es fundamental en términos de durabilidad. Por ejemplo, el acero sin proteger es incompatible con materiales muy higroscópicos como la madera o el yeso, algunos tipos de madera con buena resistencia natural a la degradación contienen sustancias químicas que aceleran la corrosión de otros materiales, el contacto entre metales diferentes puede causar corrosión galvánica, y la combinación de materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica puede generar tensiones internas y fisuras. Por lo tanto, habrá que atender a las interacciones entre los distintos materiales y determinar que no existe ninguna reacción perjudicial o nociva entre ellos.

La elección de materiales que requieran un menor mantenimiento ayudará a disminuir los costes recurrentes a largo plazo y generará un mejor resultado en los cálculos de la durabilidad del edificio. La piedra tiene mucho recorrido de vida útil en el edificio con un mantenimiento mínimo, mientras que el acero o el hormigón requieren una actividad regular de mantenimiento para poder mantener su durabilidad.

No debemos olvidar que actualmente los materiales de construcción continúan experimentando una considerable evolución no solo en su composición (introduciendo nuevos compuestos) sino en sus técnicas de conformación y de unión, como se presenta en varios puntos de esta tesis. Con ello, el empleo de materiales tradicionales se deberá de apoyar de estas nuevas posibilidades para el diseño y la construcción de soluciones desmontables duraderas y estables.



1.3.3
Efecto loto. Barthlott y Ehler. 1977. Fotografía: William Thielicke 2007.

Los botánicos alemanes Barthlott y Ehler describieron en 1977 por primera vez el "efecto loto". Este efecto se refiere a las propiedades de autolimpieza que son el resultado de muy alta repelencia al agua (superhidrófobo), según se muestra en hojas de la flor de loto (*Nelumbo*). Las partículas de suciedad son recogidas por gotas de agua debido a la micro y nanoscópica arquitectura “rugosa” de la superficie, lo que minimiza la adhesión de la gotita a esa superficie.

1. 4. MATERIALIDAD

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Materia

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. f. Realidad espacial y perceptible por los sentidos de la que están hechas las cosas que nos rodean y que, con la energía, constituye el mundo físico.

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *materia*.

Materia es la sustancia primaria con la que están hechas las cosas. Tiene que ver con la sustancia madre (*mater*) o materia prima de todo tipo de objetos y usos.

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. p. 524.

"En la física de Aristóteles, la "energía", no es un proceso dinámico en el cual se conserve una fuerza, sino un estado de inmovilidad y perfección de una entidad. […] Parece asimismo que Platón y muchos neoplatónicos admitieron que la fuerza -en cuanto energía "activa"- esta ínsita en la materia. […] El concepto de energía, tal como se entiende actualmente —inclusive cuando se niega que la energía pueda subsistir por sí misma- se ha desarrollado plenamente sólo en la edad moderna, y especialmente a partir de Kepler y Galileo (momento). En no pocos de los textos en lengua latina de comienzos de la época moderna se usa el vocablo vis - que se traduce usualmente por 'fuerza'.

Una historia del concepto de energía en sentido propio podría empezar sólo en el siglo XIX, cuando se introdujo el vocablo 'energía' especialmente a partir de Julius Robert Mayer. Este autor formuló el principio de la conservación total de la energía en un sistema físico cerrado."

.....
Gerardo F. Wadel. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* Tesis doctoral. Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande. Universitat Politècnica de Catalunya 2009. p 17.

"La tierra cuenta con una cantidad limitada de materia, debido a que a escala planetaria no se producen ni aportaciones ni extracciones de materiales (los meteoritos serían una excepción a esta regla)."

"Volviendo a los edificios tradicionales es enorme la cantidad de material que es necesario desplazar a la obra, para construir hoy en día una casa de alquiler son necesarias 65 toneladas de material por persona. Esto en época de crisis de transportes no es nada desdeñable. […] Paredes de 60 milímetros tienen las mismas capacidades de aislamiento que una de 70 cm en piedra."

. . . . . .
Jean Prouvé. *Il faut des maisons usinées*. Conferencia en Nancy Febrero 1946. En: Alexander Von Vegesack (Ed), Cathrine Dumont (Ed), Bruno Reichlin (Ed), Jean Prouvé (Art), *Jean Prouvé: The poetics of the technical object*. Vitra Design Museum. Weil am Rhein. 2006. p.176.

"[…] La energía inicial de cualquier arquitectura no es otra que la necesaria para producir la cicatriz inicial en la cantera, de la que extraemos los materiales que necesitamos, luego restarán la energía necesaria en el traslado y en su manipulación hasta llegar a la forma definitiva. La arquitectura se construye transformando la naturaleza, excavando canteras, desplazando terrenos, alterando edificios, toda construcción lleva implícita cierta idea de demolición [...]"

. . . . . .
Ángel Martínez García-Posada en *La Destrucción Creadora* en Arquitectos 187. Asuntos Internos. Revista del Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, Madrid 2009. p.53.

"El paso de la sociedad cazadora y recolectora a la agraria implicó multiplicar por cuatro la energía y los materiales demandados, mientras que el paso de la sociedad agraria a la industrial supuso hacerlo por cuatro o cinco, dándose entre ambos extremos de la civilización humana un aumento en la afectación de recursos de hasta 20 veces."

. . . . . .
Gerardo F. Wadel. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* Tesis doctoral. Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande. Universitat Politècnica de Catalunya 2009. p 26.

"Con la maquinaria de producción actual es difícil combinar diferentes materias primas en un mismo producto, porque las máquinas tradicionales tallan, cortan o moldean cosas, dándoles una forma, y estos procesos no se pueden adaptar con facilidad a un cambio en la materia prima. Conforme la impresión multimaterial en 3D siga avanzando, será más sencillo fusionar y mezclar materias primas diferentes. Estas fusiones, hasta hora inaccesibles, nos proporcionan una paleta de materiales por explorar con propiedades y comportamientos innovadores que pueden ser de utilidad."

. . . . . .
Hod Lipson y Melba Kurman, *Los diez principios de la impresión en 3D*, en *La revolución de la impresión 3D*. Madrid: Anaya, 2014.

"[…] ¿por qué no se reúnen personas e industrias para empezar a crear lo que sigue?. Construcciones que, al igual que los árboles, produzcan más energía de la que consumen y depuren sus propias aguas residuales."

. . . . . .
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.84.

1.4. MATERIALIDAD

.....

El sector de la construcción, en su respuesta a los desafíos ambientales y económicos globales, tendrá que adoptar nuevos métodos de construcción de los edificios. En lugar de destruir las estructuras y sistemas integrados para adaptarlos a las nuevas necesidades, los sistemas deberán ser desmontados y sus componentes reutilizados, transformados y montados de nuevo en nuevas combinaciones, y este planteamiento deberá estar incluido en el proyecto de construcción desde las primeras fases de diseño.

El reconocimiento del potencial de desmontaje de los edificios implicará el uso de materiales y sistemas dispuestos a ser reutilizados y reciclados y esto conllevará no sólo la recuperación de los materiales en sí mismos, sino también la de la energía que contienen.

Casi la mitad de la energía que se consume hoy en día en nuestro planeta, corresponde al sector de la construcción. Ese mismo sector es el responsable de un tercio de las emisiones de CO2. Si se llegara a adoptar la posibilidad del desmontaje como aspecto inseparable del propio proceso de diseño, convirtiendo a este vínculo en una práctica común de proyecto, estaríamos avanzado en la correcta dirección hacia la eficiencia y la sostenibilidad de nuestros diseños.

En ese supuesto sería posible que los edificios existentes sirvieran como fuente de materia prima para las nuevas construcciones [17], sustituyendo la obtención de recursos del medio ambiente natural, obteniendo de este modo una 'energía incorporada' de valor prácticamente nulo.

La optimización energética del objeto construido a lo largo de toda su vida útil (desde su creación, fabricación y montaje,

17
Werner Sobek, Dirk E. Hebel, Felix Heisel. *Urban Mining and Recycling (UMAR) Experimental Unit.* Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa) Dübendorf, Switzerland. 2018.

hasta su uso y desmontaje) pasa por atender tanto a su energía incorporada, aquella empleada en la construcción y desmontaje del mismo, como a la energía consumida durante su funcionamiento, la llamada energía operacional.

La energía incorporada estará directamente relacionada con los sistemas constructivos elegidos, y con los materiales empleados.

La limitación en la variedad y en la cantidad de materiales empleados ofrecerá una ventaja indudable en la búsqueda de la forma y en la eficiencia del diseño del objeto construido. Los procesos que potencien el taller como lugar de creación y ensamblaje inicial de los sistemas y la obra como lugar de montaje final, en el que se podrán priorizar sencillos procesos de unión en seco, generarán objetos de mayor eficiencia y de menor impacto. Este doble escenario permite la introducción de los conceptos de transformación y reversibilidad en el proceso constructivo. El objeto construido podrá modificar su forma a lo largo de su vida útil, y también podrá ser desmantelado al final de la misma, recuperando sus componentes y sistemas.

1.4.1. MATERIALIDAD PRIMARIA

Existen materiales que se consideran óptimos desde el punto de vista del bajo contenido de energía primaria, como puede ser la madera, y otros, como el cemento, el acero, el aluminio, y en parte el vidrio, que se consideran muy poco sostenibles por la gran cantidad de energía primaria que necesitan para su primera obtención.

La madera y otros materiales naturales como arenas, gravas o piedra tienen un coste en energía primaria por debajo del 15% de la energía primaria del aluminio teórico 100% reciclado [18].

La madera presenta un carácter altamente sostenible en comparación a otros materiales, destacando su valor como recurso renovable. Podríamos llegar a saber cuánta se consume al año en el mundo, pero desconocemos la cantidad precisa que se produce de manera sostenible. La madera laminada tiene un contenido de energía primaria del orden de un cuarto que el del acero, sus emisiones de CO2 son negativas y además puede ser un material local.

Tanto el acero como el aluminio son materiales de grandes prestaciones. El acero podría parecer el material más adecuado hoy en día para la construcción de estructuras desmontables: permite alcanzar grandes luces mediante estructuras con nudos en los que las zonas más solicitadas y de geometrías más complejas se realizan en taller por corte, mecanizado y soldadura robotizada, y son ensambladas posteriormente en obra mediante uniones atornilladas [19].

El aluminio es más ligero y menos oxidable que el acero. Al tener un periodo elástico muy corto y menor resistencia que el acero se usará preferentemente en estructuras trianguladas en las que sus componentes trabajarán bajo esfuerzos simples de compresión o tracción. En relación a su obtención, la energía primaria empleada es muy alta, pero pasa a ser sólo del 10% en segundas fusiones, siendo un material infinitamente reciclable.

El aluminio y la chatarra de acero se pueden fundir en hornos eléctricos para su reutilización, Estos hornos podrían alimentarse con electricidad procedente de energías renovables incrementando de este modo exponencialmente la eficiencia energética del proceso. La correcta gestión de los residuos del mineral de hierro y del procesado de la bauxita, técnicamente resueltos a día de hoy, contribuiría también a la optimización del proceso [20].

En cuanto a la cantidad existente como materia prima, el aluminio supone el 8,1% en peso de la corteza terrestre continental, y el hierro el 5,4%.

18
Guía de la edificación sostenible Idae, Ministerio de Fomento, 1995.

19
La cubierta del Estadio Metropolitano -estructura de anillos de compresión y tracción y membrana textil- son totalmente desmontables. En este caso se recurrió a uniones atornilladas por resultar más económicas y por permitir un control de calidad en taller y obra más sencillo y fiable. Cruz y Ortiz Arquitectos. 2017.

20
Enrique Azpilicueta.*¿Es posible seguir buscando el límite? O algunas reflexiones sobre la sostenibilidad.* Consultado en https://tectonica.archi/articles/. 2020.



1.4.1
Latas de aluminio prensadas. 2016. Fotografía: Austin Metal and Iron Company.

El reciclaje de las latas de aluminio no supone una pérdida de calidad de este material, ya que es un producto con propiedades inalterables y tiene una reutilización indefinida. El aluminio reciclado puede ser reutilizado una y otra vez sin perder sus propiedades físicas o químicas. Esto significa que puede ser utilizado de manera indefinida, lo que reduce la necesidad de extraer más aluminio de la naturaleza.

1.4.2. MATERIALIDAD RECICLABLE

.....

En la Semana del Diseño de Milán 2024, la empresa de aluminio y energía renovable noruega Hydro presentó la exposición “100R”, centrada en Hydro CIRCAL 100R, el primer producto de aluminio a escala industrial del mundo fabricado íntegramente con 100% de desechos postconsumo. Hydro CIRCAL 100R supone una huella de carbono de apenas de 0,5 kg CO2e por kg de aluminio, frente al 6,7 kg CO2e por kg que encontramos en el aluminio primario que se produce en Europa.

El grupo Hydro ha creado su propio canal de reciclaje. Su planta de Dormagen recoge aluminio de ventanas y fachadas durante la demolición de edificios al final de su vida útil. Los residuos se trituran y se separan de cualquier material extraño y no metálico antes de triturar finalmente el aluminio en pequeños fragmentos. Estas “virutas de aluminio” se envían a la planta de Hydro en Clervaux, donde se fabrican los tochos bajos en carbono. Las nuevas tecnologías permiten identificar con precisión la composición adecuada, lo que favorece la producción de este aluminio 100 % reciclado de alta calidad constructiva, evitando la adición de aluminio primario.

Para mostrar las vastas posibilidades del innovador material, Hydro reunió en Milán a un equipo de siete diseñadores para mostrar objetos a partir de este aluminio revolucionario. Inga Sempé, Max Lamb, Andreas Engesvik, Shane Schneck, Rachel Griffin, John Tree y Philippe Malouin, crearon diseños fabricados íntegramente con el nuevo aluminio reciclado. La exposición 100R fue una magnífica ocasión para ver objetos creados a partir de este material innovador.

Por su parte, TECHNAL, marca del grupo Hydro, se ha convertido así en la primera empresa de sistemas constructivos de aluminio en fabricar perfiles para puertas, ventanas y muros cortina a partir de aluminio 100 % reciclado. Las plantas de extrusión de Hydro Building Systems en España, Francia y Alemania entregaron el año pasado sus primeros proyectos en estos países.



1.4.2
Lámparas Grotte.
Inga Sempé.
Exposición *Hydro* 2024.
Fotografía: Einar Aslaksen.

Para la exposición Hydro, Inga Sempé diseñó una colección de lámparas de mesa utilizando un proceso industrial de ensamblaje eficiente. Utiliza dos perfiles, uno deslizándose dentro del otro, para proteger las fuentes de luz de la vista, mientras que una parte interna oculta la fuente principal. El perfil exterior sostiene la parte interna en su lugar y muestra dos lados abiertos, como corredores verticales también destinados a albergar luces LED. Ambos perfiles tienen un relieve similar a una concha que captura la luz de manera suave.

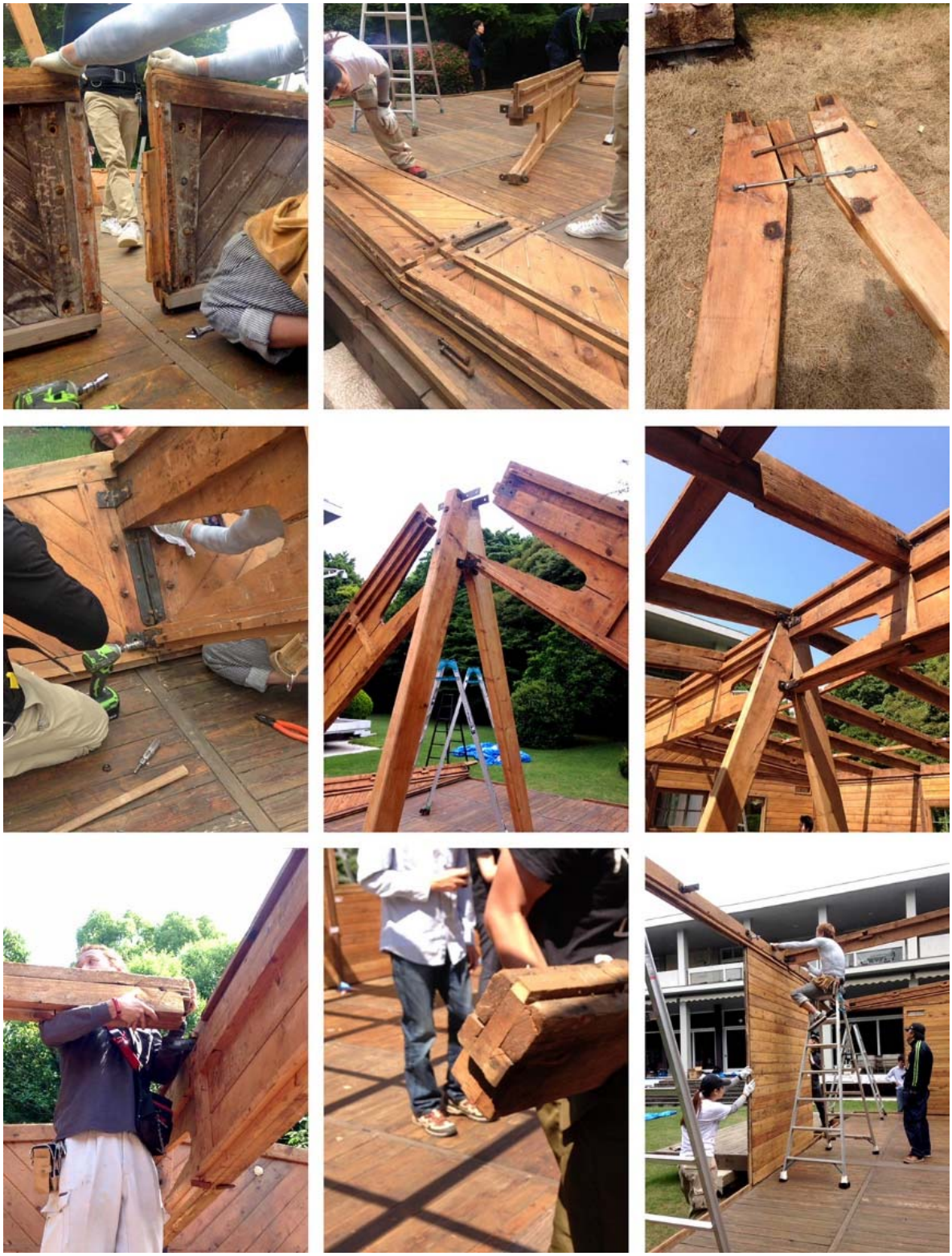
1.4.3. MATERIALIDAD INTERCAMBIABLE

.....

Pionero de la construcción con chapa plegada, aún sin dobladora para poder manipular el material, Jean Prouvé acudía a los talleres de calderería para trabajar. En 1924 abría su propio taller y en cuanto pudo fue comprando la maquinaria necesaria, la más avanzada, para poder plegar.

Durante la Segunda Guerra Mundial el estado francés encargó a Prouvé el diseño y la construcción de pabellones provisionales para alojar a las familias con viviendas dañadas a lo largo de la frontera francesa con Suiza y el suroeste de Alemania. Estas viviendas debían de poder producirse en serie, contar con el programa esencial e implantarse sin necesidad de realizar trabajos previos en el terreno. Prouvé respondió a estas premisas proponiendo un sistema en el que se tenían en cuenta los materiales empleados, la economía de escala, el transporte, el montaje, el mantenimiento de la vivienda, su desmontaje y su posibilidad de reutilización, actualización o modificación. La vivienda diseñada por Prouvé en esta ocasión, la Maison Démontable, contaba con un sistema de pórtico axial metálico y un armazón en el que encajaban paneles modulares. La estructura estaba íntegramente fabricada con láminas de acero.

La escasez de acero durante la época de guerra obligó a Prouvé a diseñar algunos ejemplares de su Maison Démontable con la estructura de madera, tarea que no le resultó en absoluto complicada, ya que estaba familiarizado con este material. Si bien es cierto que la resistencia a flexión de la madera es inicialmente inferior a la del acero, para la construcción de la Maison Démontable en madera Prouvé introdujo estrategias constructivas en el diseño que le permitieron obtener secciones muy parecidas a las originales en forma y dimensión, lo que permitiría conservar prácticamente intacto el diseño inicial de la vivienda.



1.4.3
Pabellón Desmontable de Jean Prouvé. Embajada de Francia en Tokio. 2016. Fotografías: Kaori Nishida & Kikuko Usuyama.

Uno de los pabellones desmontables diseñados íntegramente en madera por Jean Prouvé fue instalado en octubre del año 2016 en el jardín de la Embajada de Francia en Tokio.
El pabellón formó parte de la exposición “the CONSTRUCTOR Jean Prouvé”.
La vivienda fue cedida por la Galerie Patrick Seguin, que comisariaba la exposición.

1. 5. LEVEDAD

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Leve

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Del lat. *levis*.

1. adj. Ligero, de poco peso.

2. adj. Fino, sutil.

.....
Le Corbusier. *Hacia una arquitectura*. Apóstrofe. Barcelona 1998. p.193.

"La crisis de los transportes ha cundido y se ha visto que las casas representaban un tonelaje formidable. ¿Y si se disminuyese ese tonelaje en cuatro quintas partes? He aquí un espíritu moderno."

.....
F. Javier Terrados. *Prefabricación ligera de viviendas. Nuevas premisas.* Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la construcción. Universidad de Sevilla. Sevilla. 2012. p.43.

"Para Neutra su periplo vital había pasado por dejar la "Europa pesada" y encontrar la ligereza norteamericana. Lo cual le llevó en primera instancia al acero y a sus secciones estructurales mínimas."

.....
Le Corbusier. *Hacia una arquitectura*. Apóstrofe. Barcelona 1998. p.193.

"Las viviendas deben fabricarse de una pieza, hechas mediante máquinas en fábricas... Es en fábricas de aviones donde el soldado-arquitecto ha decidido construir su casa, como un avión, con las mismas soluciones estructurales, entramados ligeros, tirantes mecánicos, soportes tubulares."

.....
Barry Bergdoll, Peter Christensen (Ed). Home Delivery Fabricating The Modern Dwelling. Museum of Modern Art. Ed Birkhäuser. Nueva York. 2008. p.94.

"¿Cómo de barato es el espacio? ¿Cuánto de industrial es nuestra industria de la construcción? ¿Cuán leve es el acero?."

.....
Alejandro de la Sota. Transcripción de una charla en el instituto Torroja de Madrid, incluida en un ciclo titulado "*Muros cortina*" marzo de 1963. En: Moises Puente (Ed.). (2002:158).

"Se sabe que en un periodo evolutivo y perfectivo en todo como es el actual, siempre se tiende (y se ha tendido) a la ligereza, al alivio del peso de la materia; es una actual aspiración humana.[...] Si añadimos la claridad como concepto, podríamos decir que claridad y ligereza caracterizan hoy la sublimación de las cosas: su ingravidez es un factor positivo.[...]."

“La ligereza ha estado siempre ligada a la espiritualidad, a la poesía. Parece que fueron los poetas quienes arrastraron a la luna a los técnicos, unos nuevos poetas no reconocidos como tales; el peso y la densidad parece que pertenecen más a lo entrañable: la unión de ambos nos da un equilibrio importante. Por ejemplo, en aviación el peso es un factor importantísimo; en arquitectura ¿cuantos, incluso arquitectos, saben cuánto pesa un edificio? La arquitectura poética si tiene en cuenta ese factor: la aparición de estructuras ligeras, de muros cortina, de estructuras espaciales disfrazadas de economía son deseos de ingravidez. (...)”

. . . . . .
Memoria para la Sede de la Compañía aérea Aviaco 1975, en: Ábalos, Llinàs y Puente. 2009. p.424.

“Miro a la ciencia para nutrir mi visión en la que toda pesadez desaparece”

. . . . . .
Italo Calvino. *Lightness. Six memos for the next Millenium.* Harvard University Press, 1988.

“Siempre hemos sido críticos y recelosos con las estructuras ligeras, preocupados con que pudiesen colapsar o salir volando. Para los ojos occidentales, el peso es algo tranquilizador en los edificios, por otro lado, la belleza en la naturaleza suele estar asociada a lo ligero y la levedad.”

. . . . . .
Werner Blaser (Ed). *Richard Horden - Light Tech: Towards A Light Architecture*. Birkhäuser,

“Existe una creencia arraigada que confunde la buena arquitectura con su pesadez; cuanto más pesada, mejor,..., todos estamos comprometidos en este frenar.(...) Estamos cansados de ver inocentes viviendas que nos abruman por su gravedad; son como el lastre de las poblaciones. Por el contrario, podría uno alegrarse frente a viviendas ligeras, sin gravitar, casi volátiles.(...)”

. . . . . .
Alejandro de la Sota. Transcripción de una charla en el instituto Torroja de Madrid, incluida en un ciclo titulado “*Muros cortina*” marzo de 1963. En: Moises Puente (Ed.). (2002:158).

“El héroe que vuela por los aires: Montado en un caballo o en un pájaro, en una nave voladora, en una alfombra voladora, a hombros de un gigante o de un espíritu, en la carroza del diablo, etc.”

. . . . . .
Vladimir J. Propp. *Morfología del cuento*. Citado por Italo Calvino en *Seis propuestas para el próximo milenio.*

1.5. LEVEDAD

.....

Tradicionalmente la arquitectura desmontable ha sido asociada a sistemas de construcción ligeros. Sin duda, la búsqueda de la eficacia en el diseño situaría a la ligereza como la máxima aspiración de la arquitectura moderna. La introducción de nuevos materiales -aluminio, vidrio, acero o plástico- facilitaría el proceso.

Al mismo tiempo, la elección de la forma más óptima, minimizando los materiales empleados e introduciendo técnicas de unión en seco, sacando el máximo partido de la industrialización de los procesos, conduciría en gran medida a soluciones ligeras y de rápido montaje.

Se trataba de hacer más con materiales cada vez de menor peso, empleando menos tiempo y menos energía, para cada tipo funcional requerido, y así lo mostraron los primeros arquitectos que soñaron con la levedad de la arquitectura en cada uno de sus diseños.

Las primeras propuestas de Buckminster Fuller para la construcción de ligeras máquinas apilables de habitar de alta tecnología, en las que cada componente podría elevarse con una sola mano y cada casa se vendería al peso, podrían además ser transportadas por aire e instalarse en los lugares más inaccesibles y lejanos del país. Un vehículo capaz de circular por tierra, aire y agua, permitiría llegar hasta cada una de las viviendas.

En este universo Dymaxión, Fuller calculó que cada una de esas máquinas de habitar llegarían a pesar más o menos lo mismo que un coche de aceptable calidad, y así fue: la casa Wichita no llegó a las tres toneladas de peso.

La dobladora, máquina fundamental en el taller de Jean Prouvé, le permitiría conformar elementos en chapa plegada con los que construir sus edificios. Estos elementos serían manejados por un máximo de dos personas. Sus diseños se convertirían en uno de los testimonios más contundentes de una industrialización dinámica y ligera.

En este contexto, no podemos olvidar que la levedad como resultado de la industrialización de los procesos ya habría aparecido en Estados Unidos de la mano del Balloon Frame a principios del s.XIX. La sustitución de clavos forjados por clavos al corte, y el empleo de la máquina de vapor capaz de aserrar madera rápidamente para obtener elementos estandarizados, fueron las piezas clave en el nacimiento del nuevo sistema.

El Balloon Frame, o 'estructura globo', que muchos creyeron que podría llegar a volar ante un fuerte empuje de viento, supondría la primera forma americana de producción arquitectónica en serie, y sentaría las bases de las realizaciones posteriores relacionadas con la construcción de la casa en Estados Unidos. Se buscaba la eficacia y la rapidez del proceso constructivo, y con todo ello apareció la ligereza.

Esta visión de la levedad asociada la arquitectura desmontable resulta, sin embargo, muy limitada. La posibilidad del desmontaje puede aplicarse en un rango de arquitecturas bastante más amplio, independientemente de su peso. El principal problema a solucionar se centrará en la manipulación y en la capacidad de desplazamiento de las piezas, que estará limitada por la carga y los medios disponibles, como vemos en muchos sistemas de la antigüedad.

Sin embargo, los medios auxiliares de que disponemos en la actualidad, en concreto aquellos relacionados con la

elevación y el transporte, nos permiten construir con piezas de gran peso y formato, y que además sean desmontables, superando aquella limitación adoptada por los arquitectos modernos de que las piezas y componentes fueran lo más livianos posible para que pudieran ser manejables por una o dos personas.

Si pensamos en sistemas mixtos con elementos pesados actuando con otros más ligeros las posibilidades se amplían considerablemente. Si además incorporamos la optimización del trabajo estructural de las piezas introduciendo compresiones en las zonas que se van a traccionar por su trabajo en flexión o, por el contrario, pre o post traccionamos las zonas que se vayan a comprimir, el panorama mejora notablemente. El límite de la ligereza de los elementos constructivos estructurales no se ha alcanzado aún, queda un largo camino por recorrer. Las estructuras a base de materiales compuestos, con el grafeno como solución emergente, o los sistemas de forjados o paneles realizados con tecnología Drop Stitch, similares a las empleadas para la fabricación de las tablas de paddle surf hinchables, representan el presente y el futuro de la investigación en este campo.

Pero para poder aplicar estas innovaciones tecnológicas en arquitectura será imprescindible una revisión de la normativa a aplicar, que actualmente fomenta el empleo de elementos constructivos pesados. El comportamiento acústico, la estabilidad al fuego y la generación de movimientos de vibración son los puntos más sensibles que será necesario superar para optar a la generalización de sistemas cada vez más ligeros en nuestros edificios.

El usuario final también tendrá un papel fundamental en la aplicación de estos sistemas al tolerar o no esa ligereza en el

medio construido cotidiano que le envuelve. Asumimos como algo habitual las vibraciones del suelo de un tren o de un avión cuando caminamos sobre ellos, pero aún no somos capaces de tolerar las flexiones o deformaciones que se podrían producir en el ligero suelo de nuestra vivienda.

1.5.1. LEVEDAD CONSTRUCTIVA EN ACERO

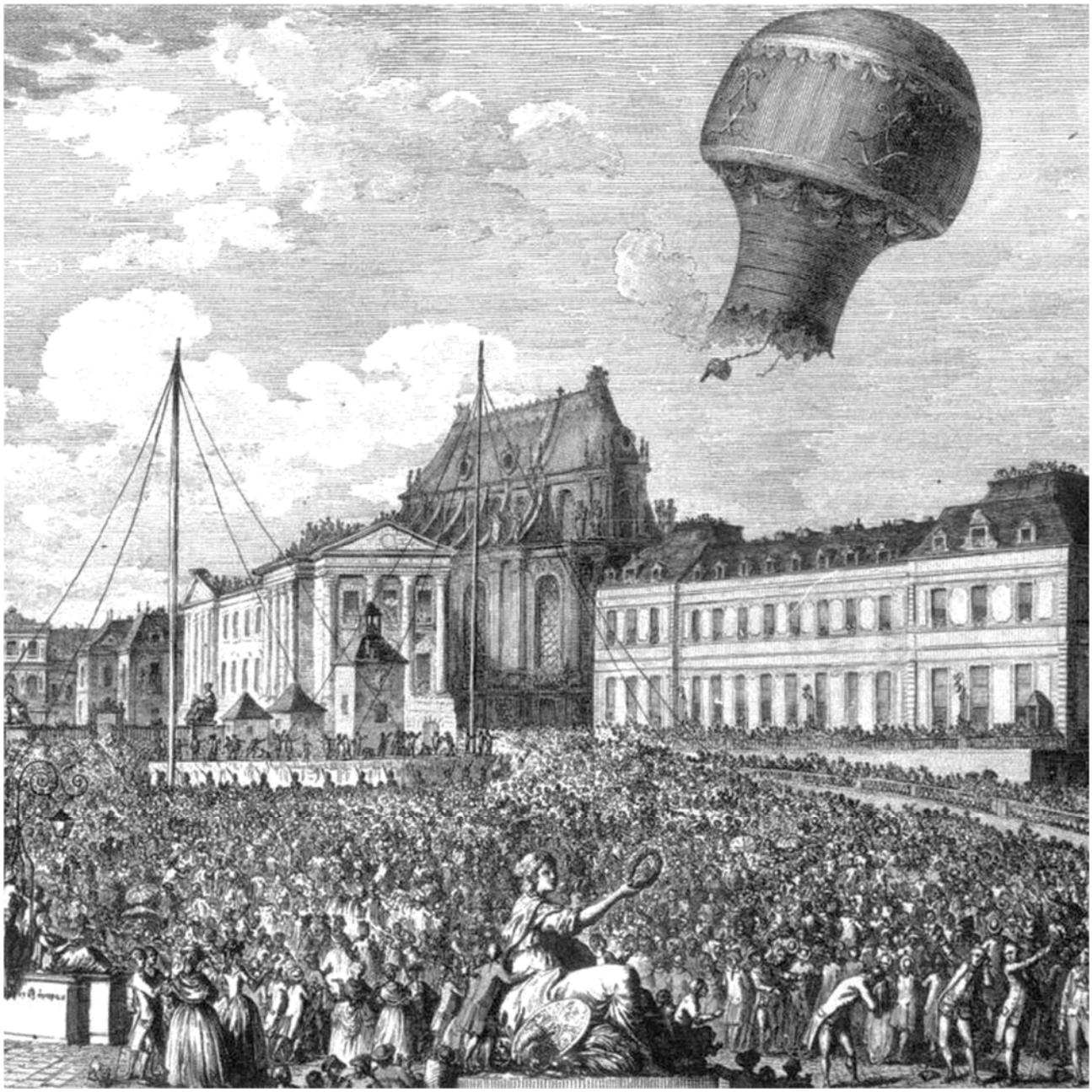
.....

En 1944, Buckminster Fuller se dirigió con unas maquetas y unos planos a la fábrica Beech de aviones en Wichita, Kansas. Los documentos que portaba contenían nuevas ideas que había estado investigando en torno a su Dymaxion House. El brusco descenso en la producción de aviones de guerra fue el factor clave para convencer a los inversores, que finalmente encargarían a Fuller un nuevo prototipo de casa, que debía de alcanzar una producción de entre cincuenta mil y sesenta mil unidades al año, con un precio de venta de 6.500 dólares, lo que supondría un dolar por kilo de peso de vivienda construida. Sería la primera vez que una casa se vendería al peso.

Las partes industrializadas de la casa se montarían in situ, su forma sería un volumen semiesférico con una chimenea troncocónica, y su peso se distribuiría entre la carga colgada del mástil central y pequeños apoyos sobre el suelo. Un núcleo prefabricado de servicios se instalaría en su interior. Pese a los avances técnicos y espaciales introducidos en el nuevo prototipo, la Beech Company finalmente decidió no fabricarla, ya que considero que respondía a una estética demasiado arriesgada para los potenciales clientes de la época.

"¿Cuánto pesa su edificio, Señor Foster?"[21]. Años más tarde, esta pregunta sería formulada por Fuller a un joven Norman Foster durante su visita a las obras del Centro Sainsbury. En un primer momento Foster no supo qué responder. Al día siguiente ya conocía el dato, el Centro Sainsbury pesaba 5.619 toneladas. Existía una proporción excesiva de peso y materiales en la parte menos visible del edificio, en los cimientos. La pregunta de Fuller cambiaría por completo el curso de la carrera del joven arquitecto.

21
¿How much does your building weights Mr Foster? Fue la pregunta que Fuller realizó a Foster tras visitar las obras de su edificio de Sainsbury. El 80% del peso del edificio se encontraba enterrado mientras que el 80% del volumen se resolvía con el 20% de material en superficie.



1.5.1
Première suite de la description des expériences aérostatiques de Montgolfier. 1784. Barthélemy Faujas de Saint-Fond.

Durante miles de años, la gente ha soñado con volar.
Sin embargo, despegar con éxito resultó imposible hasta la invención de naves más ligeras que el aire, como globos y dirigibles.
Joseph y Étienne Montgolfier, nacidos en Ardèche, Francia, comenzaron a experimentar con globos en 1782 utilizando un trozo de tela que se elevaba con un fuego de lana y paja húmeda.

1.5.2. LEVEDAD CONSTRUCTIVA EN MADERA

.....

“Damas y caballeros, por favor, manténganse en la acera. Una casa se aproxima por la calle”.

La casa victoriana Englander House, con dos pisos de altura y seis habitaciones, fue levantada de su cimentación y colocada sobre remolques. Avanzaba lentamente hacia su nueva ubicación situada a seis manzanas de distancia en la ciudad de San Francisco. Cientos de ciudadanos se agolparon en las estrechas calles para ver pasar la edificación, que se aproximaba sorteando balcones, arbolado y postes de luz. En el lugar donde había permanecido la casa hasta aquel domingo del año 2021 se construiría un nuevo edificio de 48 viviendas.

No era la primera vez que se reubicaba un edificio en San Francisco. Ya en 1886 aparecía una crónica en el Daily Morning sobre una vieja casa que se había soltado de sus amarres durante su desplazamiento. Los caballos eran los encargados de arrastrar las viviendas en aquella época utilizando tablas, amarres y tablones aceitados. Algunas construcciones incluso eran trasladadas hasta San Francisco en barco antes de ser transportadas por la ciudad.

En noviembre de 1974, el fotógrafo Dave Glass, junto con una multitud de espectadores, fue testigo de la monumental tarea de mover doce casas victorianas del barrio de Western Addition aproximadamente una milla de distancia. Las casas fueron trasladadas en grupos de cuatro durante tres fines de semana, para ser ubicadas en la zona histórica de Beiderman Place. Para facilitar su desplazamiento se retiraron líneas telefónicas, se cortaron cables de tranvía, se desmontaron farolas, y treinta escoltas policiales y treinta grúas se coordinaron para despejar el camino. Todo ello con el objetivo de abrir paso a las victorianas. La escena era comparable a una manada de elefantes moviéndose lentamente por la ciudad.

El traslado de estas casas fue posible gracias a su construcción. El entramado ligero de madera que las mantiene en pie les confiere un peso de unos 130 a 150 kg/m2, con lo que una vivienda de 300m3 puede llegar a pesar unas 15 toneladas, algo perfectamente asumible para un camión remolque americano.



1.5.2
Traslado de la Englander House. 2021.
Fuente: www.dailysabah.com

El 21 de Febrero de 2021 la casa victoriana Englander House se trasladó unos 970 metros de su posición original en Franklin Street 807 a Fulton Street 635 a una velocidad máxima de 1mph.

1.5.3. LEVEDAD DE LOS COMPONENTES DE ACERO

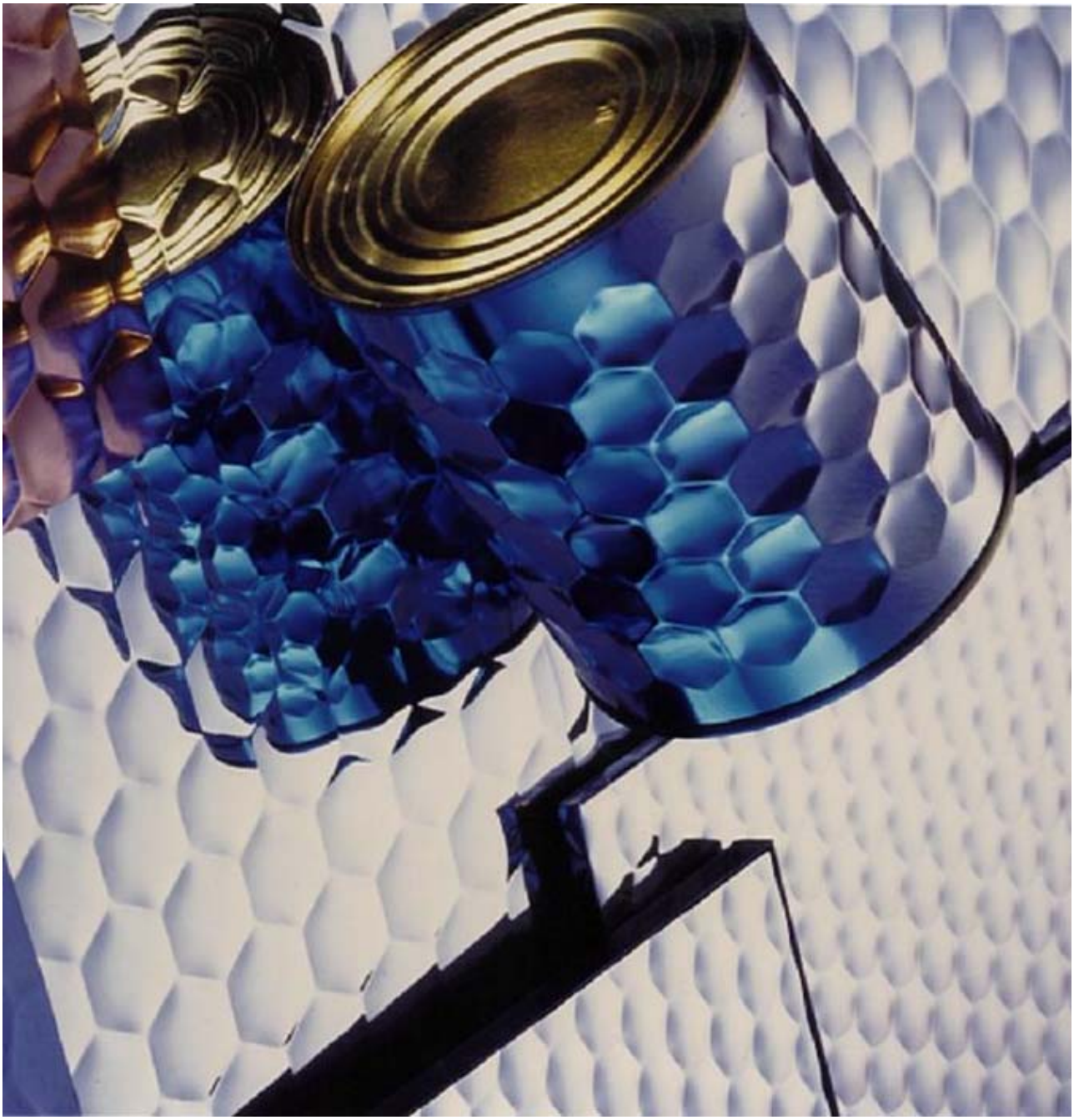
.....

En los años setenta del pasado siglo, Frank Mirstsh, físico alemán, descubrió una reacción inesperada en el comportamiento de una chapa de acero dispuesta según una forma cilíndrica durante la realización de unos ensayos. Si se somete un cilindro de acero de paredes delgadas a una presión exterior, y esa presión se contiene interiormente mediante anillos rígidos, la superficie pandea cuando se supera el punto de inestabilidad y surgen espontáneamente unas estructuras de pequeñas bóvedas cuadradas, que aportan a la superficie una resistencia adicional. También pueden aparecer patrones hexagonales de deformación que varían según la presión ejercida y las condiciones de borde [22].

Se decidió continuar la investigación siguiendo el camino de las estructuras hexagonales ya que éstas ofrecían una isotropía estructural mayor que las rectangulares.

Entre las aplicaciones múltiples de este procedimiento de conformación de chapas están los tambores de lavadoras, materiales para cubiertas, componentes de automóviles y las latas de conserva. Este descubrimiento permitiría optimizar el consumo de material en estas chapas reduciendo su espesor hasta un cuarto del original a la vez que se duplicaba la resistencia en sentido radial.

22
Adrian Beukers y Ed van Hinten. *Lightness. The inevitable renaissance of mínimum energy structures*. 010 Publishers, Rotterdam 2001. Págs. 24-25.



1.5.3
Hexacan. Wölbstrukturen. Frank Mirtsch. 1978. Fotografía: Dr. Frank Mirtsch GmbH Germany.

Un experimento realizado en el laboratorio del físico alemán Frank Mirtsch a mediados de los años setenta, mostró una reacción inesperada en el comportamiento de una chapa de acero cilíndrica. El desarrollo de este descubrimiento dio lugar a un proceso de manipulación de chapas para reducir su espesor en un 24 %, y aumentar su resistencia axial hasta un 15 %, y en el sentido radial hasta un 50 %.

1.5.4. LEVEDAD DE LOS COMPONENTES DE MADERA

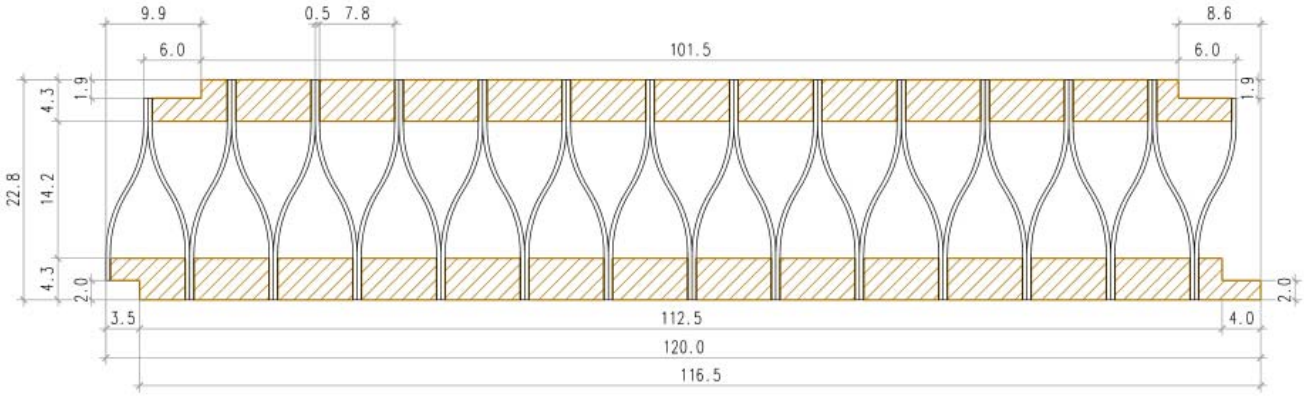
.....

La obtención de la ligereza en los elementos de la construcción no solo se limita a la inclusión de pliegues en chapas metálicas, sino que existen otro tipo de mecanismos que emplean la optimización de la forma para aumentar la resistencia.

Kielsteg Bauelement comercializa desde hace unos años elementos de madera de peso ligero que se pueden utilizar para construir forjados y cubiertas de grandes luces. Tienen una estructura celular lineal con tableros de madera en las alas superior e inferior, conectados por tableros contrachapados o de OSB en zigzag.

Esta solución destaca por su ligereza respecto de los tableros de madera contralaminados macizos (CLT) y por la posibilidad que ofrecen de utilizar los huecos interiores para el paso de instalaciones

Los elementos se forman a partir de una estructura celular lineal con alas superior e inferior de madera maciza, conectadas por tableros de contrachapado o de OSB en zigzag. El tipo de madera empleado es el abeto con encolado MUF. Presenta una longitud de entre 5 y 35 metros, un ancho de 1,20 metros y un grosor que va desde los 22,8 cm hasta los 80 cm. Hasta los 38 cm se emplean tableros de contrachapado en zigzag, a partir de ahí se usan tableros de OSB.





1.5.4
Panel de forjado kielsteg.
Fuente: www.kielsteg.com

Los productos Kielsteg permiten diseñar amplios espacios garantizando la máxima flexibilidad de uso. La innovadora disposición de la madera en estos elementos ahorra peso y garantiza un rendimiento estructural superior. Al utilizar madera, se reduce el impacto ambiental y se cumple con la responsabilidad hacia las generaciones futuras.

1.5.5. LEVEDAD DE LOS COMPONENTES EN NUEVOS MATERIALES

.....

En la búsqueda de la máxima ligereza de los elementos constructivos estructurales aparecen soluciones técnicas en otros campos ajenos a la construcción con gran potencial para ser aplicados en nuestros edificios.

Una de esas soluciones es la tecnología Drop Stitch [23].

Usando miles de hilos del nylon más resistente entre dos piezas de tejido de poliéster se construyen tablas de paddle surf hinchables con superficies planas que se inflan adoptando gran rigidez. Esto aporta gran dureza a la cubierta.

En las zonas laterales se emplean dos capas de PVC especialmente producidas para presentar una retención de aire óptima. El PVC presenta fibras internas recubiertas con PVC líquido incorporadas a la capa exterior, lo que les aporta una excelente durabilidad y resistencia.

Se trata en definitiva de una estructura neumática pretensionada por presión interna que controla su forma gracias a un sistema unifilar incorporado. Estas tablas son incluso capaces de soportar flexiones debido al gran pretraccionado de sus caras exteriores.

La tecnología Drop Stitch también se ha empleado en la industria aeronaútica para la fabricación de alas de aviones inflables

23
Enrique Azpilicueta.*¿Es posible seguir buscando el límite? O algunas reflexiones sobre la sostenibilidad.* Consultado en https://tectonica.archi/articles/. 2020.



1.5.5
Tecnología Drop Stitch.
Fuente:www.medium.com.

El dropstitch es una tecnología de construcción utilizada en la fabricación de tablas de paddle surf hinchables. Consiste en miles de hilos de poliéster que conectan la parte superior e inferior de la tabla, creando una estructura interna que permite mantener la forma de la tabla cuando está inflada. Estos hilos están tejidos entre las capas de PVC que forman la cubierta de la tabla.

1. 6. CICLABILIDAD

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Ciclo

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. m. Periodo de tiempo que, acabado, se vuelve a contar de nuevo.

2. m. Serie de fases por las que pasa un fenómeno periódico.

3. m. Conjunto de una serie de fenómenos u operaciones que se repiten ordenadamente.

4. m. Período de tiempo que incluye una serie de fenómenos característicos.

5. m. Conjunto de transformaciones por las que pasa un cuerpo hasta volver a su estado inicial.

6. m. Serie de transformaciones por las que pasa un ser vivo a lo largo de su existencia.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *cyclus*, y este del gr. κύκλος *kýklos* 'círculo', 'rueda'.

Ciclo se refiere a eventos que ocurren cada cierto tiempo.

“Los residuos son materiales sin identidad. “

. . . . . .
Thomas Rau, Sabine Oberhuber, *Material Matters: Developing Business for a Circular Economy*. Routledge. 2023.

. . . . . .
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. p. 594.

“La doctrina según la cual el universo nace y perece en una sucesión cíclica tiene muy antiguos precedentes. Uno de ellos se encuentra en el hinduismo, que influyó en este respecto sobre el budismo. En este último se habla, en efecto, de *Kalpas*, es decir, de períodos que van desde el nacimiento hasta la destrucción de un mundo. La duración de cada *Kalpa* es indeterminada, pero se supone muy grande — posiblemente, varios millones de años. El nacimiento del mundo tiene lugar por condensación extrema; su final, por una conflagración. El número de *Kalpas* es infinito, de modo que el proceso cíclico es eterno. La doctrina del eterno retorno o sucesión cíclica de los mundos fue defendida asimismo por muchos pensadores griegos; era común entre éstos considerar cada ciclo como un "Gran Año".

. . . . . .
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.10.

"[…] empecé a descubrir la rica experiencia acumulada por otras culturas en el trabajo sobre flujos de materiales, como la de los Yanomami de Brasil, que incineran a sus muertos y vierten las cenizas en una sopa de banana que la tribu consume durante un festejo de celebración. […] Estos otros puntos de vista ampliaron mi perspectiva a la hora de abordar el problema de los residuos en la tradición europea occidental."

"[…] La construcción no era cara, los materiales eran reciclados y no pertenecían al habitante de la casa. Se dejaba en alquiler indefinido de modo que era el Estado quien debía asegurar una masa crítica de materiales en circulación. Si la demanda subía era también el Estado el que liberaba reservas de sus almacenes de modo que nunca hubiera lugar para la especulación.

La destrucción por uso era mínima y casi todos los sistemas de producción eran compatibles de modo que era posible fabricar con distintos sistemas usando el mismo tipo de material.

El concepto de masa crítica de materiales en circulación había cambiado el juego de fuerzas de la especulación constructiva."

. . . . . .

Salvador Perez Arroyo. *Vivienda y Tecnología* en Arquitectos 176. Revista del Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, Madrid 2005.

"La formación de precios (hasta ahora dominante) basada en los costes de extracción deja paso a otra, centrada en los costes de reposición, que implica hacerse cargo de la conversión de los residuos generados en nuevos recursos. El cambio de venta al alquiler representa este concepto, ya que el precio que se paga por el servicio que prestan los productos incluye el coste de retorno a fábrica de los mismos, para su posterior procesado y re introducción en la cadena de producción."

. . . . . .

Gerardo F. Wadel. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* Tesis doctoral. Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande. Universitat Politècnica de Catalunya 2009. p 29.

1.6. CICLABILIDAD

.....

Partimos de la base de que el mejor residuo es el que no se genera. La prevención en materia de residuos permite un ahorro en el consumo de materias primas, una reducción en los costes de gestión de residuos y la creación de nuevas oportunidades de negocio que podrían incluir desde el diseño de productos fácilmente reparables hasta servicios de reparación y reutilización de bienes duraderos prolongando así su vida útil.

Entre las opciones de gestión de residuos, la prevención sería la opción ambiental más deseable y sostenible, seguida de la reutilización, del reciclaje, de otras formas de valorización (incluida la energética) y, por último, de la eliminación (depósito en vertedero entre otras).

La 'sociedad del reciclado' [24] en la que aspiramos vivir debería incluir el reciclado y la reutilización como opciones económicamente atractivas para los operadores, además de la existencia de mercados funcionales para las materias primas secundarias (en los que se llegara a equilibrar la oferta y la demanda de materiales valorizables y reutilizables) y del reciclado de alta calidad, iniciando el camino hacia una economía basada en la reutilización y el reciclaje.

Tal y como ocurre con la gestión de los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos, y con los residuos de los vehículos fuera de uso, la prevención en la generación de los residuos de construcción debería de pasar por la obligación de los productores de, por un lado, crear diseños que faciliten el desmontaje y la reutilización, y por otro, facilitar a los gestores de residuos información adecuada para identificar los distintos componentes susceptibles de ser reutilizados. Además, la información al usuario final sobre las

24
Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas

características del producto construido en relación con su gestión como residuo debería de plantearse como algo esencial.

El benchmarking, como estrategia para impulsar los sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor, tiene un papel fundamental en este contexto. La evaluación comparativa de los procedimientos del mercado ayudará a los fabricantes de los componentes del edificio a alargar la vida útil de sus productos y a poner en marcha nuevas medidas que mejoren la gestión de sus residuos. La calculadora de reciclabilidad o el pasaporte energético de los materiales, por su parte, se convertirán en herramientas indispensables para la identificación del contenido reciclado de los mismos y de las posibles vías de recuperación de los distintos elementos de la construcción.

En este contexto podrá surgir de nuevo un concepto: el producto-servicio. Los productos con valiosos nutrientes técnicos, como los que participan de las instalaciones de un edificio, deberían ser concebidos como servicios de los que la gente pudiera disfrutar. Los usuarios comprarían el servicio prestado por tales productos para un periodo de tiempo dado el lugar del producto en sí. Cuando hubieran acabado de emplear el producto, o quisieran actualizarlo, el fabricante lo reemplazaría, llevándose el modelo antiguo. Los fabricantes mantendrían la propiedad de los materiales [25].

La eficacia y sostenibilidad del objeto construido implicará incorporar en las fases previas de diseño la consideración de las repercusiones ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto, incluido su tratamiento como residuo. El diseño sostenible se concretará en la limitación de la cantidad de materias primas empleadas para la fabricación de cada uno los componentes, en la sustitución de las sustancias

25
Las ideas de Fuller ya participaron de este concepto en los años 30s del s XX, primero aplicado a los coches y posterioemente a otros productos.

contaminantes, y en el diseño de soluciones que sean fácilmente desmontables, reutilizables, reparables o reciclables al final de su vida útil.

1.6.1. CICLO BIOLÓGICO

En el ciclo biológico, los procesos naturales permiten regenerar los recursos inicialmente empleados. Los productos creados son capaces de descomponerse de forma natural y volver a la biosfera. Los residuos pasan a ser inmediatamente 'alimento' para otro organismo [26].

En nuestro entorno doméstico más cercano, los residuos de aquello que comemos o los tejidos naturales como el lino o el cáñamo, son ejemplos claros que entran dentro de esta categoría.

El papel reciclado se fabrica a partir de fibras de celulosa procedentes de diversos orígenes. Una vez lavados todos los aditivos y productos químicos, como las tintas, el proceso de fabricación implica la transformación de la materia prima en pasta y, a continuación, la formación de la hoja de papel. Una vez finalizado su uso, el papel puede reciclarse hasta siete veces para crear nuevos productos de papel, completando así su ciclo de vida biológico. Al final de su vida, el papel, lavado de estos aditivos y añadidos químicos, puede devolverse al suelo.

26
Michael Braungart, William McDonough. Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.87



1.6.1
On water. European Investment Bank. 2019. Fotografía: Yann Arthus-Bertrand.

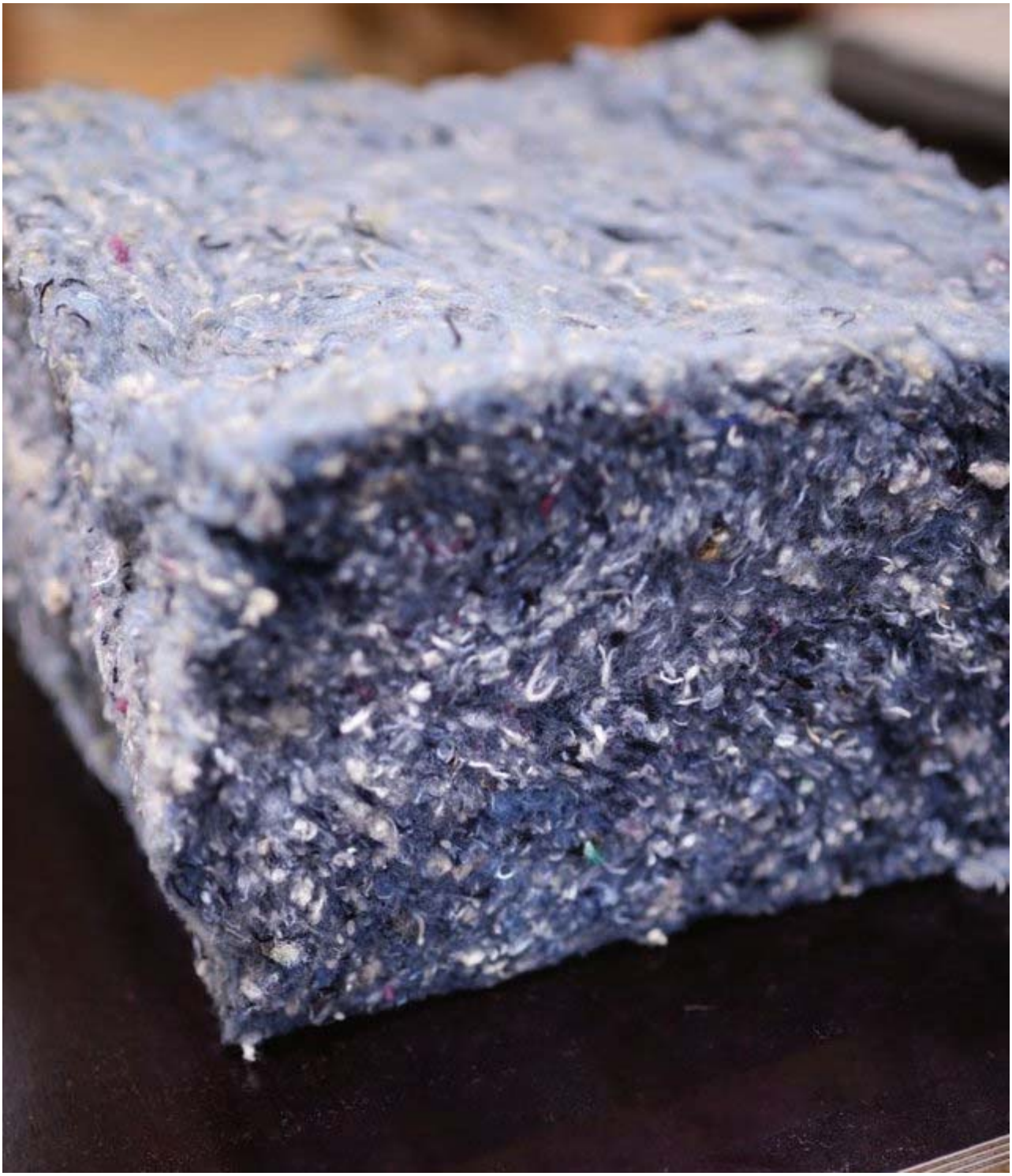
El agua es parte de un ciclo global que implica un período de reposición. Es un circuito cerrado que tiene su propio ritmo, y no es inmediato.

1.6.2. CICLO TÉCNICO

En un ciclo técnico de una economía circular, la intervención humana recupera los distintos recursos para volver a generar productos con la energía disponible, dentro de un periodo de tiempo determinado. El sistema circular tiende a elegir las tecnologías y procesos que empleen recursos renovables y con los que obtener los mejores resultados, optimizando los procedimientos. Se diseña con la intención de que pueda repetirse el proceso de fabricación, reciclaje y reutilización de modo que los componentes y materiales sigan circulando y contribuyendo a la economía circular. Los productos incorporados en un ciclo técnico se desmontan al final de su vida útil para fabricar nuevos productos.

Los hilos solubles, como los desarrollados por Resortecs, facilitan el desmontaje de las piezas constituyentes de distintas prendas de vestir, como vaqueros y chaquetas, para proceder a su reutilización, ayudando de este modo a mantener los textiles dentro del sistema circular. Antes de proceder a su reciclaje, las piezas de la prenda deben separarse retirando el hilo, de lo contrario la calidad del producto reciclado se vería mermada.

Estos hilos innovadores se disuelven en hornos comerciales a puntos de fusión de 150ºC, 170ªc y 200ºC permitiendo la separación de las distintas partes de la prenda. La capacidad de desmontaje simultáneo puede llegar hasta la media tonelada de ropa al mismo tiempo.



1.6.2
UltraTouch Denim. Dirk Hebel, Marta Wisniewska, Félix Heisel, Felix. *Constructing Waste - Investigating an alternative resource for future cities.* FCL Magazine. Special Issue. 2015. Fig. 04, p. 61.

UltraTouch Denim es un material aislante superficial producido a partir de tela vaquera.
Es un producto de construcción de clase A y cumple con los estándares de prueba ASTM más altos en cuanto a resistencia al fuego y al humo, resistencia a los hongos y corrosión.
Contiene un 80 % de fibras naturales recicladas posconsumo, lo que lo convierte en una opción ideal como material de construcción sustentable de alta calidad.

1.6.3. RECICLADO DE ALTA CALIDAD

.....

El proyecto Iceberg -Innovative Circular Economy Based solutions demonstrating the Efficient recovery of valuable material Resources from the Generation of representative End-of-Life building materials-, financiado por la Unión Europea, se plantea con la finalidad de diseñar, desarrollar, demostrar y validar tecnologías avanzadas que permitan producir materias primas secundarias de alto valor (menos de un 8% de impurezas).

Se desarrolla a través de seis casos de estudio en Europa, que cubren la circularidad de madera, hormigón, agregado mixto, placas de yeso, vidrio, espumas aislantes poliméricas e inorgánicas y materiales superaislantes.

Iceberg desarrolla herramientas innovadoras de logística inversa circular para la recuperación selectiva de materiales provenientes de la deconstrucción de los edificios, como pueden ser: Imagen HiperSpectral (HSI), software de aprendizaje automático y manipuladores robóticos para aumentar la eficiencia de clasificación de agregados mixtos; un sistema integrado optimizado de trituración, clasificación y limpieza y procesos rápidos de pirólisis y purificación para fracciones de madera; una unidad móvil de atrición térmica integrada con LIBS y carbonatación para hormigón; hidrociclón combinado con clasificación HSI y purificación de ácido para aumentar la pureza de las placas de yeso recicladas; un proceso combinado de purificación y solvólisis para espumas aislantes poliméricas; y el procesamiento hidrotermal y supercrítico avanzado de desechos que contienen vidrio y sílice. Todo ello en colaboración con la empresa LENZ Instruments entre otras.

A través del proyecto Iceberg se pretende, además, asentar la confianza del mercado y potenciar la reutilización de los materiales y componentes constructivos al final de su vida útil.



1.6.3
Copenhill. Copenhague. BIG Architects. 2019. Fuente: copenhagenarchitecture.dk

La planta Copenhill, en Copenhague, convierte anualmente 440.000 toneladas de residuos en energía. El edificio proyectado por BIG tiene una fachada escalable, una estructura transitable y una cubierta esquiable. La maquinaria de esa planta, como señala el crítico de arquitectura danés Ifversen, quedará obsoleta en unas décadas y será reemplazada por tecnología cada vez más eficiente. "Pero estaba bastante seguro de que, al final, el edificio durará", dice Ingels, "no por su propósito inicial sino por estas ideas adicionales que inventamos".

1.6.4. CICLABILIDAD Y POSICIÓN

.....

La anastilosis, del griego ἀνά "hacia arriba" y στύλος "columna", es un término arqueológico que designa la técnica de reconstrucción de un monumento en ruinas a partir de sus elementos dispersos, que se recolocan en su posición original gracias al estudio metódico del ajuste entre las partes [27].

En el caso de las construcciones formadas por piedras de grandes dimensiones de los periodos más antiguos, donde cada bloque tenía un lugar definido, la anastilosis puede no tener mayor complicación; sin embargo, es mucho más difícil de realizar en los edificios medievales en los que a menudo las piedras eran intercambiables. La anastilosis parcial de estos últimos sólo es posible en aquellas partes que se han encontrado unidas en las excavaciones.

La elección de la técnica adecuada para realizar la anastilosis debe de estar respaldada por un equipo científico. En numerosas ocasiones deberá resolver los daños derivados del desmontaje, embalaje y transporte de los elementos. Además, se habrá de tener en cuenta que, si existe algún elemento que pueda ser utilizado en distintas construcciones de distintos periodos, su empleo en una construcción le hace incompatible con las otras.

Los principios que deben presidir la conservación y restauración del patrimonio se encuentran recogidos en la Carta International de Venecia de 1964 [28]. Allí se detallan los criterios para la anastilosis, que incluyen: la confirmación científica de la condición original de la estructura, la determinación de la ubicación adecuada de cada componente recuperado, la consideración de los componentes complementarios como material de reemplazo que sirva únicamente para la estabilidad de la construcción situándose en las partes inferiores, la restricción de completar los huecos aparentes con construcción nueva.

27
Diccionario de la lengua española. Vigésimo tercera edición

28
Carta de Venecia. 1964. Traducción realizada por Maria José Martínez justicia a partir del texto italiano.



1.6.4
Templo de Debod.
Alfonso Martín Flores.
Templo de Debod.
Ed. Ayto de Madrid. p.19

El día 6 de junio de 1970 las cajas embaladas que contenían los bloques del templo de Debod fueron embarcadas en el buque Benisa y llegaron al puerto de Valencia el día 18 de ese mismo mes. Llegaron a Madrid en camiones, donde se almacenaron en el solar del antiguo cuartel de la Montaña, destruido durante la guerra civil española. El equipo de arqueólogos tuvo que encajar las 2300 piezas del templo. Más de cien bloques habían perdido la numeración y muchos fragmentos llevaban una marca que no correspondía al plano. Finalmente, y tras varios titubeos, la reconstrucción del templo fue una anastilosis.

1.6.5. CICLABILIDAD Y EL PASAPORTE DE LOS MATERIALES

.....

Para que la ciclabilidad de los componentes de una construcción sea viable es necesario caracterizar cada uno de ellos, darles una identidad. En este punto es donde se hace necesario el pasaporte de materiales.

Su misión principal es la de registrar cada uno de ellos, estableciendo un banco de materiales que pasarán a ser de nuevo materia prima del proceso constructivo con un valor cuantificable en sus próximos ciclos de vida. El pasaporte mide además el impacto de los materiales sobre los cuatro valores de la construcción circular: salud, ciclabilidad, valor residual y productividad.

El pasaporte de materiales permite además la trazabilidad de los materiales e incluye un procedimiento de deconstrucción en el que se especifican las vías de ciclabilidad posibles para garantizar la recuperación de las materias primas y su valor.



1.6.5
Residuos inertes.
Fuente: www.gadisa.es

Diversas aplicaciones informáticas permiten rastrear los distintos materiales en las cadenas de suministro para crear un registro confiable de la composición de los edificios y la huella de carbono mediante pasaportes digitales de productos.

CAPÍTULO 2

•

DESMONTAJE

2.1. PROPORCIÓN

2.2. CONFORMACIÓN

2.3. UNIÓN

2.4. PRECISIÓN

2.5. CONSTRUCCIÓN

2.6. DIVISIÓN

DEFINICIÓN · DESMONTAJE

Desmontar

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. tr. desarmar (separar las piezas de que se compone algo).

3. tr. Deshacer un edificio o parte de él.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

De *des*-, inversión de la acción, y *montar ,* 'subir encima', y este del latín *montare*, 'subir una montaña'.

2. 1. PROPORCIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Proporción

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. f. Disposición, conformidad o correspondencia debida de las partes de una cosa con el todo o entre cosas relacionadas entre sí.

[…]

4. f. Mayor o menor dimensión de una cosa.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *proportio, -ōnis*.

Relación entre cosas que están puestas frente a otras. La primera mención de esta palabra es por Cicerón, quien usa 'pro portione' para traducir el griego ἀναλογία (analogía).

La palabra *portio, portionis* significa parte de un todo, subdivisión. De ahí las palabras porción y proporcional.

.....
Elma Durmisevic. *Transformable building structures. Design for disassembly as a way to introduce sustainable engenieering to building design & construction*. Delft 2006. p. 157.

"Design of transformation is about coordination of loose relations."

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. p. 627.

"Extensión, en primer lugar, designa la cualidad de lo extenso, es decir, el carácter de la situación de algo en el espacio. […] La extensión puede ser extrínseca (o externa) -posición de las partes de un cuerpo en el espacio, de la que resultan volumen y tamaño-; intrínseca (o interna) -posición de las partes de un cuerpo relativamente unas a otras independientemente del espacio en que el cuerpo se halla-; y virtual -situación de puntos-fuerzas en el espacio determinada por las fuerzas y movimientos de un cuerpo dado."

"... Es una cuestión de grado. Para simplificar y mirar hacia el futuro, si montas un producto en su sitio en obra, eso es prefabricación. Si mezclas, cortas, ajustas o parcheas esto no es prefabricación. Si el campo de actuaciones corresponde más con ensamblar que elaborar, entonces estamos hablando de prefabricar. Una pared de ladrillo enlucida por supuesto que utiliza elementos estandarizados pero esa pared es realmente elaborada en obra."

. . . . . .

Tomas Fisher. *Prefabrication: What Does it Mean to the Architect?* En: *Journal of the American Institue of Architects*, Nov. 1948. p.220.

"Imaginemos un edificio como un árbol, una ciudad como un bosque."

. . . . . .

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.133.

"Pero no sólo era útil la Geometría para la montea, sino también para determinar la estabilidad de las construcciones. Los métodos medievales para dimensionar estribos y muros de apoyo y contrarresto de bóvedas se basaban en sencillos trazados geométricos."

. . . . . .

José Fernández Salas. *Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones.* Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid, 19-21 septiembre 1996. p.193.

2.1. PROPORCIÓN

.....

En nuestro universo existe una relación infinita en la que cualquier ser es parte y todo al mismo tiempo. El término 'Cosmos', empleado por los antiguos griegos, otorga a nuestro universo los atributos de orden y organización.

Cualquier entidad de nuestro mundo se forma a partir de un acuerdo de partes menores, y a su vez la identidad y organización de esas partes son las que definen al ser superior. Las partículas que componen la materia de cualquier cuerpo le otorgan una dimensión natural que el hombre podrá modificar, llegando incluso a intervenir en su organización interna, para establecer la relación más eficiente entre materia, elementos y objeto construido.

La materia original, ahora transformada, volverá a depositarse sobre la superficie de nuestro planeta, esta vez con una configuración proporcionada a las manos y al entendimiento del ser humano, y generada a partir del enlace y la superposición.

La configuración de distintas piezas responderá al nuevo medio en el que se integre mediante la deformación y el desplazamiento de sus elementos, debidos éstos a alteraciones en la estructura interna de sus materiales. Será entonces necesaria una adecuada técnica de unión. Esa unión será la norma de la secuencia de componentes que resolverá la totalidad de la construcción, y también la que permitirá regresar a cada una de las partes. Contendrá las instrucciones codificadas capaces de ordenar la realidad del objeto construido y si los elementos están unidos mediante junta seca, estas uniones permitirán desentrañar el entramado de partes de una manera clara y coherente.

El arquitecto será el encargado de diseñar la estrategia que permita responder a las acciones físicas y requerimientos funcionales del conjunto de piezas unidas, adaptándolas al mismo tiempo a la forma construida, para obtener finalmente un todo ordenado. Abordará esta misión ayudado por el módulo, unidad elemental que otorgará a cada elemento su dimensión correcta en ese entendimiento con el todo, y que será definido atendiendo a la naturaleza de la construcción. El módulo será el origen de la estrategia de relaciones entre las medidas de los elementos del todo construido, y esa estrategia se compondrá principalmente de relaciones aritméticas.

2.1.1. PROPORCIÓN MODULAR

.....

El módulo ya existió en los inicios de la arquitectura, y así lo encontramos en la Grecia clásica y en su búsqueda de la belleza; en Roma, que será utilizado con un carácter estético-funcional; y en la arquitectura japonesa, donde se aplicará con un sentido decididamente funcional. El origen de la estrategia constructiva, recogida en el módulo, se iniciará con frecuencia en el diámetro de la columna o en el espesor del muro. Las dimensiones de los templos griegos del siglo IV a.C., por ejemplo, se habrían dado como fracciones o múltiplos de una columna modular. El arquitecto debía facilitar un modelo de la esquina del templo y el resto de las dimensiones podían determinarse entonces a partir de mediciones hechas en el modelo y multiplicadas por un factor de escala apropiado, sin dependencia de las unidades dimensionales normalizadas.

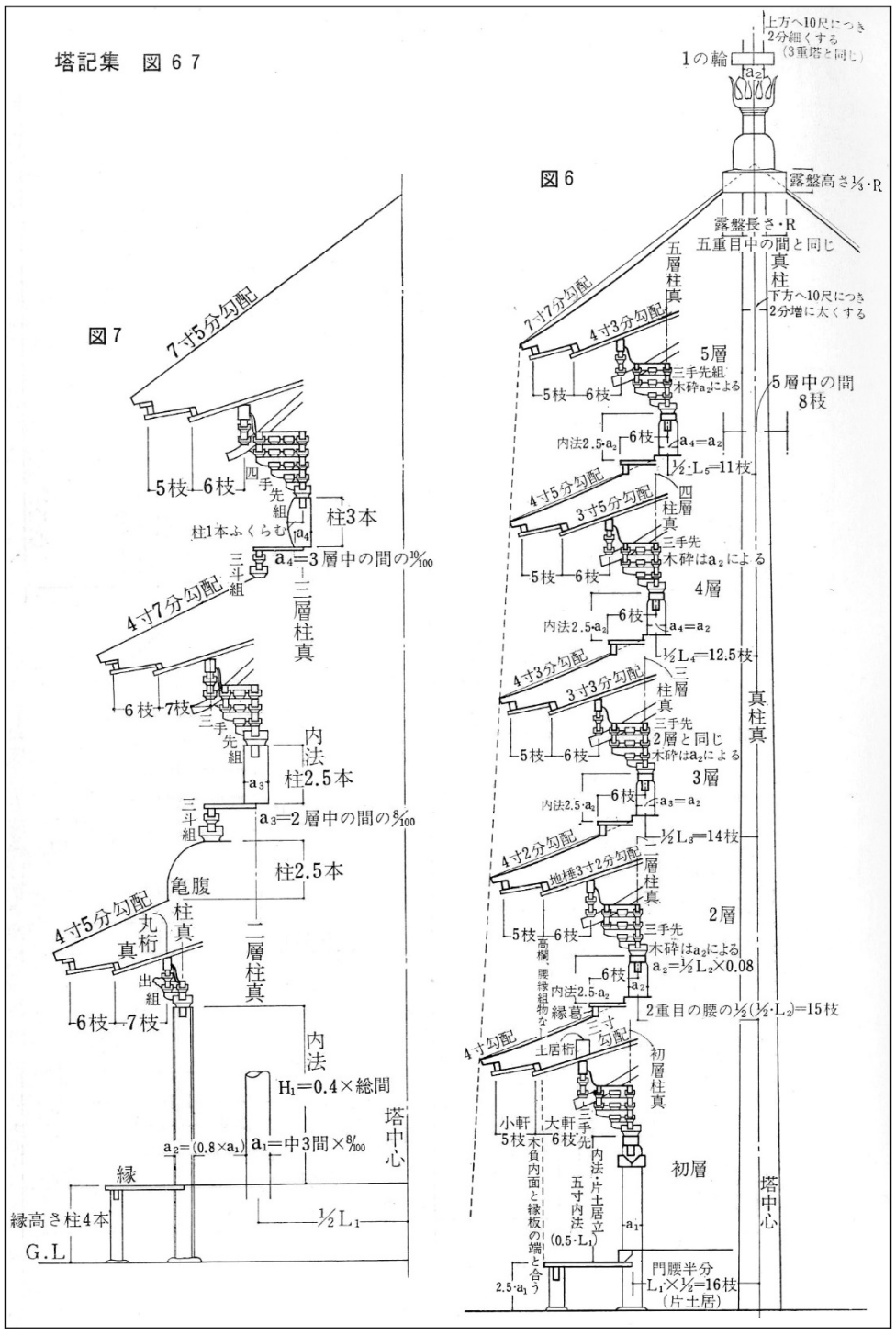
Las proporciones establecidas en Shōmei, el manual *kiwari* más completo y antiguo que se conserva en Japón, recopilado en el año 1608 por la familia Heinouchi, permitiría al maestro carpintero obtener la armonía arquitectónica basando las dimensiones mayores del conjunto edificado en una serie de estándares o módulos, como la distancia entre soportes o el ancho de los mismos.

A pesar del grado sumo de estandarización de los elementos de las construcciones japonesas, en las que las longitudes y las secciones de las piezas de madera han llegado a tener sus medidas fijas y proporcionadas, la estandarización japonesa no constituía un dogma inmutable, y la calidad de la obra comenzaba cuando el orden de los tamaños estandarizados no imperaba. Hoy podemos considerar estos manuales como recopilaciones generales de referencia, enciclopedias arquitectónicas en las que la tecnología del momento fue reunida y presentada de una forma sistemática, estableciendo los patrones de la arquitectura japonesa moderna.

También encontramos varios ejemplos de estos manuales en occidente en la misma época. En 1516 Lorenz Lechler, maestro de obras de Heidelberg, escribe a beneficio de su hijo ciertas reglas de diseño estructural para las iglesias de salón alemanas tardo góticas. En estas Instrucciones se presentan esquemas geométricos, pero también consejos específicos sobre detalles estructurales en relación a grosores, vanos y dimensiones.

Al igual que ocurriría con los tratados renacentistas, e incluso con las normas escritas que nos encontraremos en épocas posteriores, la propia existencia de estos manuales debió causar el efecto de la estandarización de la forma arquitectónica. El prudente seguimiento de los textos al detalle sirvió para ahogar probablemente la innovación estructural y constructiva del momento [29] .

29
Robert Mark. *"Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica"*. Ediciones Akal. 2002



2.1.1
Shōmei. Parte IV. Pagodas.
Heinouchi Yoshimasa. 1608.

Shōmei es el manual *kiwari* más conocido y más antiguo que se conserva. Fue escrito por Heinouchi Yoshimasa y presentado por primera vez por su hijo Masanobu Heinouchi en 1608 en cinco formatos de pergamino. El uso de las proporciones allí establecidas permitía al carpintero constructor obtener la armonía arquitectónica basando las dimensiones principales de su diseño en una serie de normas o módulos. Los cinco pergaminos se correspondían con: puertas, santuarios, templos, pagodas y casas. La copia más antigua conocida del texto, propiedad de la Universidad de Tokio, se publicó en algún momento entre 1697 y 1727.

2.1.2. PROPORCIÓN EN LA ERA INDUSTRIAL

.....

El Palacio de Cristal de Joseph Paxton, construido en 1851, representa la primera aplicación de la regulación modular en el nuevo panorama derivado de la Revolución Industrial. Para entonces ya se habrá producido el paso del módulo a la coordinación modular. El sistema de medidas se originará en la trama ortogonal y el edificio se construirá por repetición continuada de una serie de dimensiones. El objetivo será la descomposición del edificio en una serie de piezas idénticas que permitan fabricarlo industrialmente.

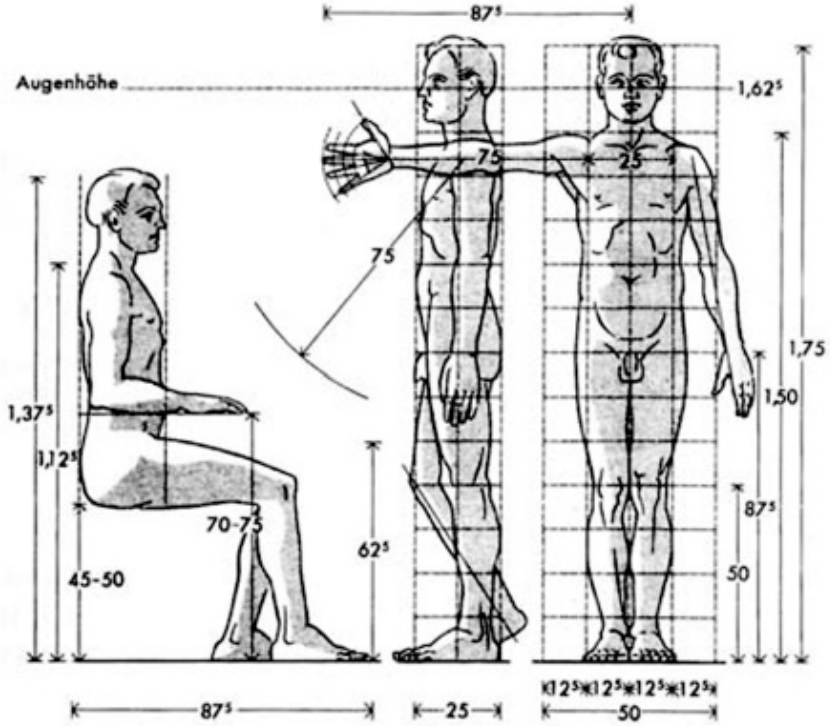
Ante esta nueva realidad, Le Corbusier pretenderá recuperar el módulo como regulador de la composición de la construcción en su sentido más clásico: primero organizará las superficies del volumen construido basándose en el orden de los trazados de la antigüedad y en la proporción áurea, para luego pasar a adoptar un planteamiento más radical al anclar la referencia dimensional en el cuerpo humano y descomponer sus medidas en una serie de longitudes que puedan emplearse de manera universal. Tratará de este modo de conciliar el plan clásico con el desarrollo industrial.

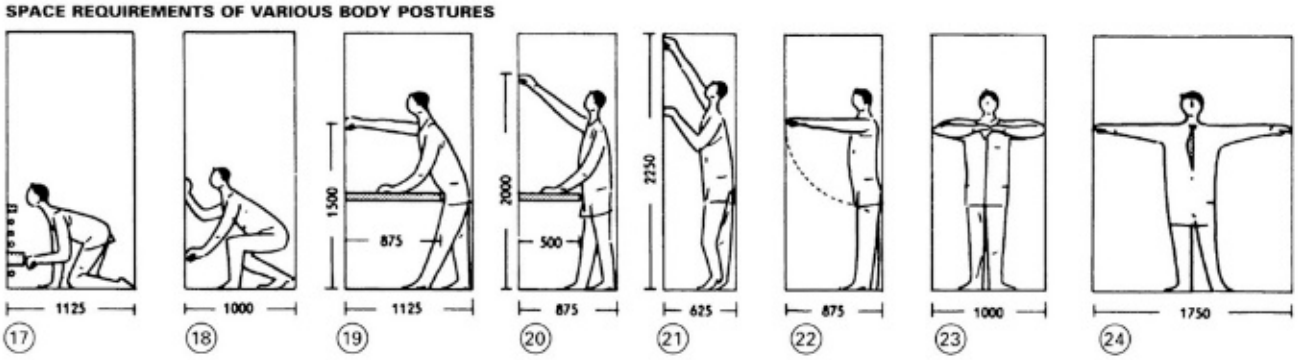
Los estudios desarrollados por otros arquitectos al final de la Segunda Guerra Mundial, con el módulo octamétrico de Neufert, la norma francesa de 1945 o el módulo de Lescaze y Davison como principales referentes, impulsarán el camino de la incorporación de la coordinación modular como estrategia de rigor para el diseño arquitectónico y como medio para optimizar tres de los factores capitales en construcción: el tiempo, el coste y la calidad.

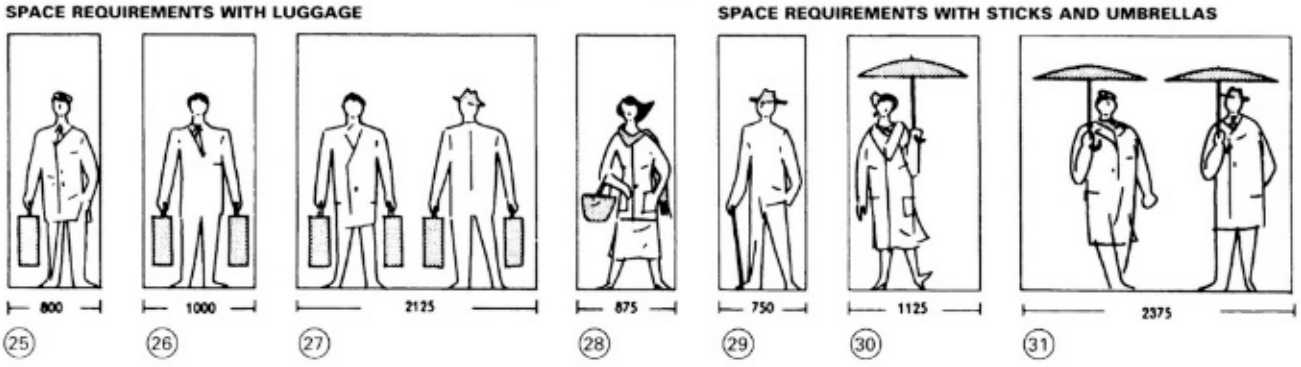
Pasada la mitad del siglo XX, G. C. Argan planteará a través de la R.I.B.A la sustitución del módulo como unidad de medida por el módulo-objeto en la arquitectura de la modernidad [30]. El objeto ya no será concebido cuantitativamente, sino cualitativamente. Su presencia no se limitará únicamente a la gradación del espacio métrico, sino que definirá nuevas relaciones entre el espacio y sus habitantes; interviniendo en la llamada "curvatura del espacio" [31]. Lo normalizado ya no será una forma, sino un artefacto, lo que modificará la concepción funcional y espacial de la arquitectura, y con ello sus procesos de creación.

30
Giulio Carlo Argán, *Módulo medida y módulo objeto*, en: Proyecto y destino, Caracas, Editorial Universidad Central de Venezuela, 1965, pp. 81-89.

31
El término "curvatura del espacio" fue utilizado inicialmente por Maurice Merleau-Ponty y luego por Henri Maldiney para definir la manera en que interactuaban el espacio y las cosas en la percepción moderna del mundo







2.1.2
The propotions of man in the "Oktametermaß" 1943 y *Bauentwurfslehre ed. 1991.* Ernst Neufert.

Ernst Neufert (1900-1986) fue arquitecto y profesor de arquitectura alemán conocido por sus esfuerzos en el ámbito de la normalización arquitectónica, especialmente relacionada con las medidas del cuerpo humano.
Durante la década de los cuarenta del pasado siglo se convertiría en el representante de la estandarización de la arquitectura industrial alemana.

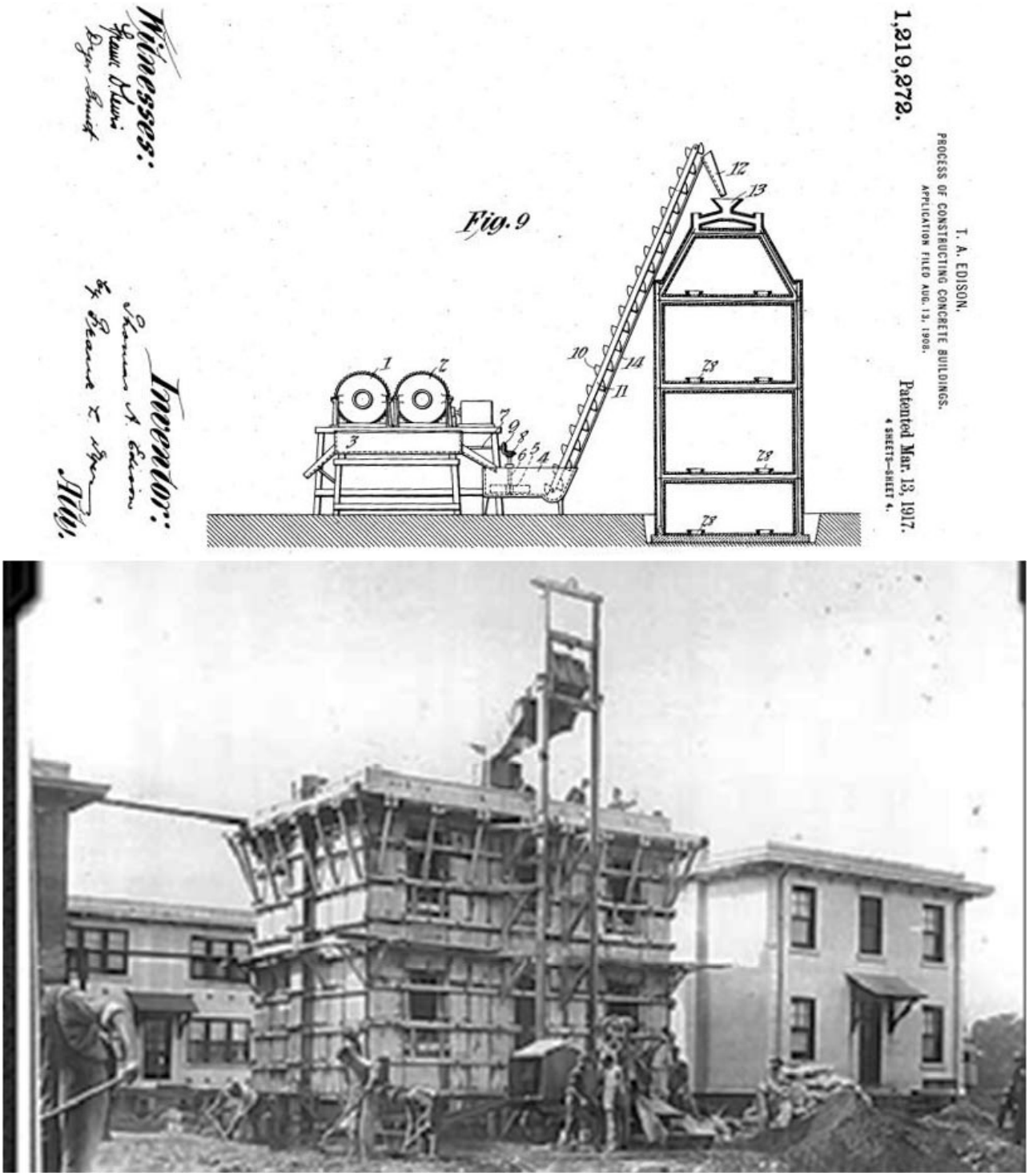
2.1.3. PROPORCIÓN DIGITAL

.....

En las últimas décadas el desarrollo de las tecnologías digitales y de los métodos de fabricación y conformación han tomado el protagonismo de la construcción, permitiendo que la trama reticular dominante del Racionalismo se desfigure y que el ángulo recto ya no sea el más importante. Las nuevas técnicas de conformación, impresión 3D incluida, han pasado a ofrecer la posibilidad de producir una gran variedad de componentes constructivos básicos no necesariamente repetitivos y también de elementos constructivos y estructurales más complejos y ya montados en una misma operación.

En todo caso, aún resulta difícil combinar diferentes materiales en estos procesos. Por el momento la construcción de edificios parece que continuará realizándose por partes. La escala de lo construido determinará la elección del sistema. Los módulos tridimensionales se emplearán principalmente en vivienda unifamiliar o en vivienda colectiva -siguiendo el principio del botellero y las botellas-, los sistemas de paneles se aplicarán en edificios de escala reducida y media, y las estructuras ligeras con cerramiento independiente se emplearán sobre todo en edificios singulares y de uso terciario. El mayor ámbito de experimentación se dará en los edificios destinados a vivienda colectiva, que serán contenedores donde deberían entenderse todo tipo de patentes.

Quizás esté cerca el momento en que podamos imprimir edificios completos con un material continuo y único -preferentemente biodegradable- capaz de resolver de un golpe todo el objeto, como ya propuso T.A. Edison en 1919, pero eso es algo que todavía resulta ajeno a la razón y a la posibilidad técnica y lógica de su ejecución. El primer inconveniente a superar será el problema de la escala.



2.1.3
Planos de 1908 para la *Patente de casas de hormigón vertido.* Fotografía de la construcción de una de ellas. Thomas Edison. 1919. Via Slate.

El sueño de Edison no era usar el cemento para construir el primer tramo de autopista de hormigón del mundo sino para confeccionar casas, enteras, por dentro y por fuera, en serie, completamente de hormigón. "El reto de los ingenieros de Edison era formular una mezcla lo bastante espesa como para que los conglomerados se mantuvieran en suspensión desafiando a la gravedad y que, además, al endurecerse adoptara una consistencia lisa y uniforme de calidad suficiente como para convencer a la gente de que estaba comprando una casa, no un búnker. Era una ambición imposible." Bill Bryson. *En casa.* Ed, Rba 2023.

2. 2. CONFORMACIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Conformar

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Del lat. *conformāre.*

1. tr. Ajustar, concordar algo con otra cosa.

2. tr. Dar forma a algo o a alguien.

3. tr. Formar o constituir algo.

[…]

.....
D'arcy W. Thompson. *El crecimiento y la forma*. H. Blume Ediciones.1980. p.12.

"La morfología no es tan sólo el estudio de las cosas materiales y la forma de éstas, sino que tiene un aspecto dinámico, que nos permite interpretar, en términos de fuerza, el funcionamiento de la energía."

.....
Conferencia dictada en Barcelona 1980. En: Moises Puente (ed.) *Alejandro de la Sota. Escritos, conversaciones, conferencias*. Gustavo Gili. Barcelona. 2002. p.171.

"Optar por una arquitectura física en contraposición a una química, en la que ningún elemento se mezcla con otro para producir un tercero, sino que, con las pinzas, siempre puedas dar con toda la personalidad del elemento."

.....
Sigfried Giedion. *La mecanización toma el mando*. Gustavo Gili. Barcelona. 1978. p.112.

"El trabajo debía conseguirse con facilidad y dentro de los posible, sin fatiga."

.....
Esto afirmaba Edward Sylvester Morse, etnólogo americano que pasó varios años en Japón a mediados del siglo XIX. Eduard S. Morse. *Das Haus im alten Japan*. Hamburg, 1983. Cita incluida en el libro *Wood ad Wood Joints. Building ttraditions of Europe, Japan and China*. Ed. Birkhäuser, 2011. p 67.

"Cuando miro a nuestras pesadas cajas hechas de reluciente madera, atestadas de herramientas por valor de cientos de dólares – impecables instrumentos fabricados por costosas máquinas -, y cuando pienso en el trabajo que se realiza con ellas, donde hay partes que se mueven en los lugares donde deberían permanecer fijas, y otras que están fijas donde deberían moverse; y donde el trabajo ha de realizarse a menudo dos veces; y cuando después pienso en los carpinteros japoneses con sus ridículamente ligeras cajas de herramientas que contienen lo más simple y esencial; cuando comparo la carpintería de estas dos culturas llego a la conclusión de que civilización y tecnología moderna son inútiles si no se acompañan de una porción decente de competencia y una pizca de gusto e ingenio."

"Así ocurrió entre los griegos. Al suponer que un objeto tiene no sólo una figura patente y visible, sino también una figura latente e invisible, se forjó la noción de forma en tanto que figura interna captable sólo por la mente. Esta figura interna es llamada a veces idea y a veces forma. […] Aristóteles introduce la noción de Forma, **μορφή**, en muchos pasajes de sus obras, pero especialmente en la Física y en la Metafísica. […] La materia es aquello con lo cual se hace algo; la forma es aquello que determina la materia para ser algo, esto es, aquello por lo cual algo es lo que es. Así, en una mesa de madera la madera es la materia con la cual está hecha la mesa y el modelo que ha seguido el carpintero es su forma. Desde este punto de vista la relación entre materia y forma puede ser comparada con la relación entre potencia y acto."

. . . . . .
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. p. 716.

"Los maestros canteros necesitaban conocer ángulos, radios y dimensiones reales de los sillares para obtener las plantillas a tamaño natural; lo que les obligaba a dibujar éstos en la montea mediante procedimientos sencillos, pero no por ello faltos de rigor geométrico, mucho antes de que Gaspar Monge desarrollara el sistema diédrico. La forma geométrica se materializaba después, durante el proceso de labra, con la ayuda de escuadras, compases, baiveles y saltarreglas."

. . . . . .
José Fernández Salas. *Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones*. Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid, 19-21 septiembre 1996. p.191.

"Las tecnologías de fabricación y los artesanos humanos tradicionales sólo pueden crear un repertorio de formas limitado. Nuestra capacidad de crear formas está limitada por las herramientas de las que disponemos. Por ejemplo, un torno de madera tradicional sólo puede crear objetos redondeados. Un molino sólo puede crear determinadas piezas. Un molde sólo puede crear las formas que se pueden verter en él como líquido y extraer una vez solidificadas. Las impresoras 3D eliminan esas barreras, abriendo nuevos horizontes en el terreno del diseño. Una impresora puede fabricar formas que hasta ahora sólo eran posibles en la naturaleza."

. . . . . .
Hod Lipson y Melba Kurman, *Los diez principios de la impresión en 3D*, en *La revolución de la impresión 3D*. Madrid: Anaya, 2014.

2.2. CONFORMACIÓN

.....

La condición fundamental para el empleo de un determinado material es su disponibilidad. La necesidad de un lugar donde cobijarse obligó a nuestros antepasados a buscar a su alrededor materiales con los que poder construir. Mejor con piezas ligeras, fáciles de manejar, sin excesivos elementos individuales que permitieran un montaje y desmontaje rápido, y un fácil traslado. Esta fue siempre la primera preferencia. Allí donde estaban disponibles en cantidades suficientes, la madera y los elementos vegetales fueron la opción ideal debido a su facilidad para ser trabajados.

La naturaleza siempre ofreció infinita ayuda y sirvió como modelo para aquel que supo buscar y observar. Cuanto más dependiente era el hombre de la naturaleza, más debía esforzarse en ser compatible con ella. Y así, del mismo modo, su refugio. Construir en comunión con el medio natural fue en algún tiempo una necesidad de supervivencia.

La práctica occidental favoreció el desarrollo de herramientas que, dirigidas hacia un mejor manejo y facilidad de trabajo, establecieron el camino para el desarrollo de máquinas y de la producción en fábricas. En cambio, el pensamiento oriental, y en concreto el pensamiento japonés, cerrado a occidente hasta la era Meiji [32], se caracterizó por el esfuerzo para obtener todo lo posible de la artesanía.

32
Periodo de la historia de Japón entre 1868-1912.

El resultado de estas condiciones diferentes se refleja en las diferentes formas de las herramientas. Las europeas se sustentan en la eficiencia y la practicidad. Fueron diseñadas para servir. Son una colección de instrumentos destinados a facilitar el trabajo en la medida de lo posible. La manera europea de usarlas se caracteriza principalmente por una acción de empuje hacia fuera del cuerpo, mientras que la

japonesa por una de atracción hacia el cuerpo. Esta técnica se aleja del trabajo de fuerza para acercarse a uno de mayor sensibilidad. En el caso de la mayoría de las herramientas europeas su tamaño y peso ya indican que han sido diseñadas para explotar la fuerza física del usuario.

El artesano al crear con sus manos, desarrolla una interacción simultánea y sensorial con el propio material estimulando sus capacidades cognitivas que de otro modo permanecerían latentes. Su habilidad para combinar la información sensorial y la proyección intelectual se basa en un trabajo de disciplina y repetición. Cuanta más experiencia tenga el artesano, más trabajaran sus herramientas como extensiones de su mente y de sus manos.

Un violinista profesional, entrenado desde la infancia en su instrumento, llegará un momento en que no necesite pensar conscientemente en como coger el arco o cómo separar los dedos para apretar las cuerdas. Puede confiar en la memoria motora de sus músculos para llevar a cabo la tarea mecánica de producir la música que tiene en su mente y centrar su atención espontáneamente en transmitir y expresar la música en tiempo real. Más allá de esto, el músico piensa con sus manos incluso cuando no está tocando su instrumento. Si escucha música en otro lugar sentirá un cosquilleo en sus dedos e inconscientemente enviará a su cerebro la posición en que se deben colocar para la reproducción de ese pasaje. El instrumento ha pasado a ser una extensión de su propio cuerpo [33].

En occidente, la lanzadera volante mecánica y su utilización para la fabricación de tejidos en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII transformó la industria artesanal en un sistema de fábricas dotadas de máquinas capaces de producir kilómetros y kilómetros de tela a una velocidad

33
La exposición "*The thinking Hand: Tools and Traditions of the Japanese Carpenter"* fue organizada por Harvard's Reischauer Institute and Harvard Graduate School of Design con motivo de la donación de 62 herramientas del Takenaka Carpentry Tools Museum de Kobe. Permaneció abierta del 17 de enero al 4 de marzo de 2014 en the Japan Friends of Harvard Concourse en CGIS Building en 1730 Cambridge St.. En ella se presenta lo descrito en el texto

extraordinariamente superior. Daba comienzo la Revolución Industrial. El objetivo era producir de manera eficaz, suministrando la mayor cantidad de bienes al máximo número de personas, lo que supuso el cambio de un sistema de trabajo manual a otro de mecanización eficiente.

La técnica ya habría surgido varios cientos de años antes, pero fue la Revolución Industrial la que permitió la incorporación del automatismo, de las máquinas, capaces de prescindir de la intervención humana durante la mayor parte del proceso de fabricación.

Estos nuevos métodos de producción pronto se aplicarían a la fabricación de coches, aviones y a una innumerable variedad de artefactos que pasarían a producirse en masa. El paso a la arquitectura no fue tan inmediato. Habría que esperar hasta finales del siglo XIX cuando la industrialización de la arquitectura vendría de la mano de la modernidad.

Casi la totalidad de los materiales empleados en la construcción han sido sometidos a un proceso de conformación o fabricación, a partir de unas materias primas, antes de adoptar sus características finales y ser colocados en una posición concreta dentro del edificio. Desbastación, aserrado, laminado, fusión, polimerización, etc, cada uno de estos procesos están conectados con un momento determinado de la historia y su aparición es consecuencia del avance técnico del momento.

Hoy, las nuevas técnicas de conformación de piezas mediante sistemas digitalizados, y el elevado control en los procesos de fabricación y montaje, representan el presente y el futuro inmediato en la industria de la construcción. Estos procesos ponen en manos del arquitecto un amplio abanico de productos y posibilidades con los que poder proporcionar soluciones aptas para el futuro, más allá de los

condicionantes tradicionales de estandarización. Las opciones son tan amplias que los límites hoy están más en las capacidades técnicas e intelectuales del propio ser humano, que en los propios materiales.

El obligado ahorro energético hace necesario pensar en nuevas propuestas de futuro, y sitúa al desmontaje y reutilización de componentes como pieza clave del proceso constructivo.

2.2.1. CONFORMACIÓN Y PENSAMIENTO

.....

Prácticamente todas las estructuras en Japón fueron hechas de madera. *Daiku*, la palabra japonesa empleada como carpintero, se compone de los ideogramas '*dai*' y '*ku*', cuya traducción literal sería 'gran artesano' o 'maestro constructor', correspondiendo exactamente con las raíces griegas 'arkhi' y 'tekton' de donde la palabra 'arquitecto' se deriva. Como artesano, creador, arquitecto y maestro constructor, el carpintero japonés es tan responsable de la aportación intelectual como de su aplicación práctica.

Según la tradición japonesa, para que un carpintero llegue a ser competente necesita al menos treinta años para aprender, observar y reunir la experiencia necesaria para adquirir el conocimiento. Y esto debe ser realizado a través del trabajo diario con el material, resolviendo los problemas bajo la experta mirada de un maestro superior.

Parte integrante de este trabajo de carpintería es la intuición, que, corregida y afinada por la experiencia en un proceso dialéctico continuo, dota al carpintero de su clara autonomía. La labor extremadamente cuidadosa, la atención a los pequeños detalles y la habilidad de crear lo nuevo respetando al mismo tiempo lo antiguo son criterios esenciales que determinan su aptitud.

Pero hay algo más que muchos insisten en señalar, y que resulta ser de difícil explicación, y es la absoluta empatía del carpintero con el propio material, que le permite seleccionar la pieza de madera correcta desde el primer momento, y por cada pieza en sus manos asignarle el propósito adecuado y trabajarla apropiadamente para adaptarla a cada detalle.

El carpintero es quién mejor conoce las condiciones que debe cumplir cada uno de los elementos individuales de la construcción, que deberán de proceder de un tronco especialmente adecuado para su función. Las vigas, por ejemplo, se obtendrán de troncos ligeramente curvados con el objetivo de que la curva permanezca en la parte superior. Además, para garantizar el buen funcionamiento de las escuadrías, la madera en el edificio acabado deberá tener la misma orientación que tenía en la montaña.

Mientras la transferencia tradicional del conocimiento de la carpintería artesanal se ha ido desapareciendo en Japón a diferentes ritmos, así también lo ha hecho el conocimiento tradicional en sí mismo. En apenas cien años, el conocimiento heredado del maestro carpintero por sus discípulos, acumulado durante más de mil años constantemente ampliado, perfeccionado y adaptado a las nuevas tareas, se ha ido desvaneciendo lentamente.

Esta situación ha llevado al gobierno japonés a proteger el patrimonio intangible de la sabiduría artesanal de estos carpinteros como patrimonio vivo, y a impulsar el aprendizaje de jóvenes carpinteros (Ley de Protección de Propiedades Culturales de Japón de 1975).



2.2.1
Carpintero japonés manejando una garlopa. Mark Mulligan, Yukkio Lippit. *TheThinking Hand. Tools and Traditions of the Japanese Carpenter.* Harvard University 2014. p. 22. Fotografía: Takenaka Carpentry Tools Museum.

Las herramientas del carpintero europeo se sustentan en la eficiencia y la practicidad. Fueron diseñadas para servir. Son una colección de instrumentos destinados a facilitar el trabajo en la medida de lo posible. La manera europea de usarlas se caracteriza principalmente por una acción de empuje hacia fuera del cuerpo, mientras que la japonesa por una de atracción hacia el cuerpo. Esta técnica se aleja del trabajo de fuerza para acercarse a uno de mayor sensibilidad. En la foto se muestra el trabajo de un carpintero japonés, que desliza suavemente la garlopa hacia su cuerpo sobre una pieza de madera.

2.2.2. CONFORMACIÓN INSTRUMENTAL

.....

Antes del año 3.000 a.C. los egipcios ya eran capaces de obtener temperaturas de hasta 950º en hornos para la fundición de metales, lo que les permitiría fabricar una amplia variedad de utensilios y herramientas. El mineral triturado se colocaba junto con carbón vegetal en una hendidura de una piedra dura y se prendía alimentándolo con fuelle. Así se fundía y trabajaba el bronce, que sería utilizado principalmente en láminas como herramienta en los trabajos de construcción. Los trabajos de carpintería de taller se realizaban principalmente con azuela o formón, los agujeros de las clavijas con una broca accionada por una ballesta y el lijado de superficies con gres o piedra pómez.

En torno al año 800 a.C. las herramientas comenzaron a fabricarse en Occidente con hierro forjado y con acero con bajo contenido en carbono. Los romanos templarían el acero para conseguir una mayor dureza y eficacia de los instrumentos de corte. Las hojas de filo de este material permitirían la manipulación de la madera más dura y el desarrollo técnico de las uniones complejas.

La introducción de las técnicas de hierro en Japón desde el continente asiático tendría lugar algunos siglos más tarde, en el periodo Yayoi (300 a.C. - 250 d.C.), dando lugar al reemplazo de las herramientas de piedra, que daban como resultado un aplastamiento de las fibras en la zona de corte, por otras de hierro para la construcción de los primeros refugios. Talar un árbol con herramientas de piedra resultaba de tres a cinco veces más lento que con un hacha de hierro, que además permitiría realizar un corte limpio gracias a su canto afilado. A partir de ese momento las técnicas de forja y el perfeccionamiento de estas herramientas se desarrollarían a buen ritmo en todo el territorio.

Para Bruno Taut, las herramientas del carpintero japonés desplegadas a la vista podían ser tomadas por las de un mecánico, no por la cantidad de herramientas diferentes, sino por las diferentes gradaciones de cada una de ellas. 49 cinceles, 40 cepillos, 26 barrenas, 17 utensilios para medir y marcar, 12 sierras, 9 tenazas, 6 martillos y mazas, 2 hachas diferentes, 6 piedras de afilar y 5 limas, completan un total de 179 elementos. Hoy un carpintero puede llegar a disponer de unas 120, empleando no más de 80. Son parte fundamental de la identidad de esta disciplina, marcando a su independencia respecto a otros campos.

El carpintero japonés no habla simplemente de 'herramientas' si no de 'dogu', 'los instrumentos del carpintero', que llega a identificar con su alma, y esto a pesar de las muchas prácticas adaptadas en muchos aspectos y a pesar del uso de otro tipo de máquinas actuales y dispositivos de última tecnología que también son habituales para el trabajo de la madera. Las herramientas tienen tanta importancia que un carpintero puede llegar a rechazar un trabajo si no dispone de las suyas propias.



2.2.2.a
Exposición permanente '*Tools and Handwork*'. Takenaka Carpentry Tools Museum. Kobe. Japón.
Fotografías de la autora.

Para Bruno Taut, las herramientas del carpintero japonés desplegadas a la vista podían ser tomadas por las de un mecánico, no por la cantidad de herramientas diferentes, sino por las diferentes gradaciones de cada una de ellas. En la fotografía se muestra una vitrina con unas 160 herramientas del carpintero japonés. Todas ellas son distintas en tipo o en gradación. La vitrina se encuentra en el Takenaka Carpentry Museum en Kobe.

Dentro del amplio abanico de herramientas se encuentran los llamados instrumentos creativos que dentro del ámbito del trabajo con madera incluyen la escuadra, la varilla de medición, el tintero y la tira de marcado de bambú, la plomada, así como manuales y maquetas a escala. La ejecución y puesta en obra de las distintas piezas se realiza con las herramientas manuales: herramientas de corte, utensilios de acabado e instrumentos de mantenimiento.

La 'kanna' y el 'nokogiri' evolucionarían al inicio del periodo Kamakura (1185-1336), permitiendo un desarrollo asombroso de las técnicas de la carpintería y un cambio en la manera de construir japonesa. El carpintero podría trabajar ahora con mayor precisión y exactitud. Además, las cuchillas extremadamente fuertes características de las garlopas y cinceles japoneses son el resultado del desarrollo de las técnicas de fabricación de acero de alto contenido en carbono durante el periodo de los samurais (1497-1568). El mejor acero forjado a mano que existe en Japón, conocido como "tamahagane", es muy superior al acero que se produce hoy industrialmente.



2.2.2.b
Yariganna y kanna del carpintero de Seirin-ji. Tokio. Fotografía de la autora.

Maqueta y herramientas tradicionales (yariganna y kanna) del maestro carpintero Fujino-san en su taller.
En este momento el carpintero está realizando la reconstrucción, tras su desmantelamiento, de la pagoda del Templo de Seirin-ji.

2.2.3. CONFORMACIÓN DE LA MADERA EN EGIPTO

.....

La manera habitual de construir con madera emplea principalmente líneas rectas, principalmente por las características de la madera y la naturaleza de su crecimiento. Existen obvias excepciones, como los barcos de madera con sus cascos curvos e inclinados, elegantes muebles curvados de una sola pieza, o determinados utensilios de cocina de curiosas forma. Pero en tales casos, los carpinteros, fabricantes de muebles, y otros artesanos han tenido que desarrollar nuevas técnicas para forzar la madera y que pudiera adoptar y mantener una forma poco natural.

La madera fue un material escaso en las antiguas civilizaciones del mundo occidental. En el Antiguo Egipto, el carpintero se veía obligado en numerosas ocasiones a aprovechar la madera, que sería importada, al máximo, sin desperdiciar ni una astilla, poniendo especial atención en la perfecta ejecución de los ensambles.

Pioneros en el oficio de la madera, los maestros carpinteros de esta época ejecutaron los distintos ensambles que ya existían desde los tiempos más antiguos (cola de milano, caja y espiga, juntas a media madera, juntas con clavijas empotradas, etc.) con gran habilidad y destreza. Solucionaron los alabeos presentes en las tablas obtenidas del aserrado de escuadrías de la madera blanda de que disponían yuxtaponiendo o asociando varias de ellas consiguiendo resultados sorprendentes.



2.2.3
Silla nº14. Silla Thonet.
Michael Thonet. 1859.
Fuente: www.valoffice.com.

Aunque las técnicas para el curvado de la madera fueron utilizadas desde sus inicios en la construcción de embarcaciones, así como en la elaboración de ruedas, el desarrollo de Michael Thonet durante la década de 1850 permitió perfeccionarlas para producir muebles en serie. Su silla nº14 (conocida como Kaffeehausstuhl Nr. 14) se construía usando 6 piezas de madera, 4 puntillas, 2 tornillos y 2 tuercas. Y se podían empaquetar 36 sillas desmontadas en una caja de un metro cúbico para enviarlas a cualquier parte del mundo y montarlas in situ sin necesidad de mano de obra cualificada.

2.2.4. CONFORMACIÓN DE LA MADERA EN JAPÓN

.....

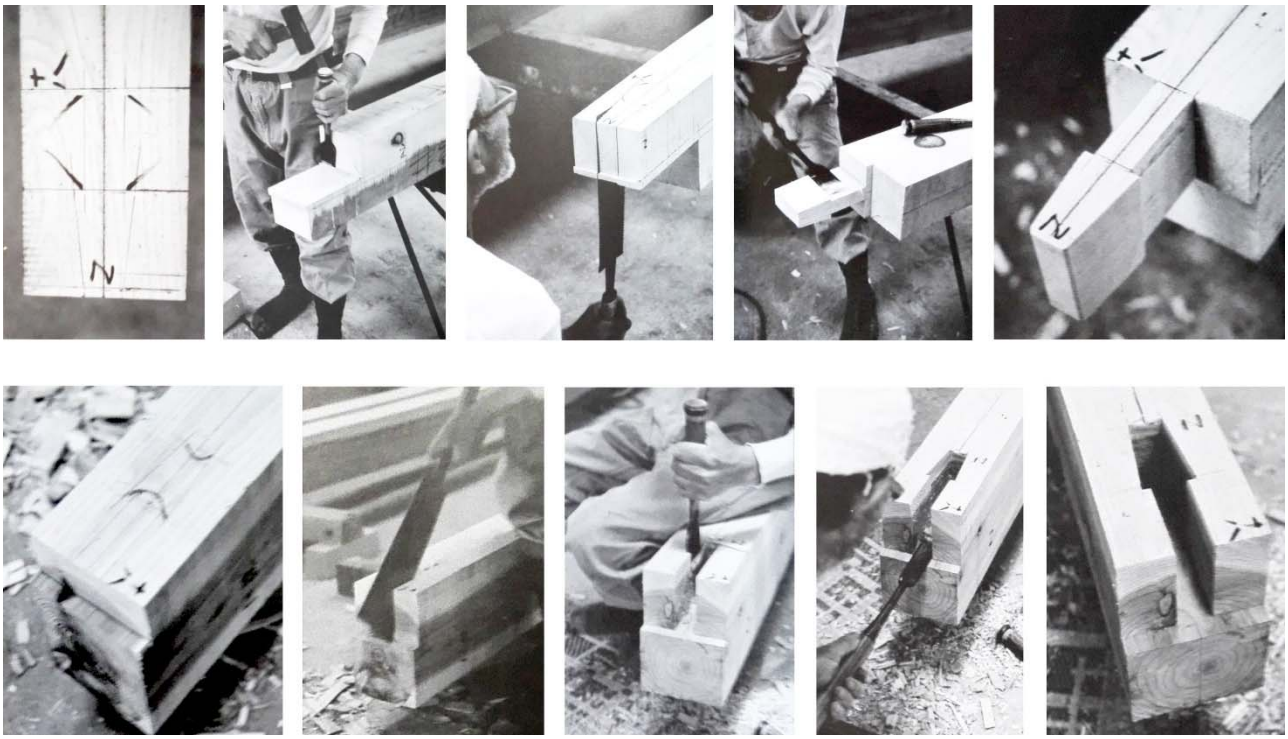
Reyner Banham establecía la diferencia entre dos tipos de culturas, aquellas que queman la madera para calentarse, y aquellas que construyen con ella. La cultura japonesa parece pertenecer más a esta segunda opción.

La tradición señala que el maestro carpintero japonés, daiku, seleccionaba los árboles del bosque antes de su tala indicando sobre cada uno de ellos su destino final.

Tras su traslado al aserradero y el sumergido en los estanques, el carpintero realizaba el marcado para la división de los troncos comenzando por las piezas mayores, obteniendo los elementos más pequeños del sobrante. En los extremos de los troncos se marcaba toda la información relativa al destino final de las piezas. Tras el conformado de las piezas se realizaban pruebas de montaje en taller que se desmontaban de nuevo antes de ser llevadas al recinto de la obra.

Algunas de las técnicas empleadas en la construcción de un templo tradicional japonés pueden explicarse a través de la descripción del proceso de conformación de una junta de empalme, como la junta en cuello de cisne empleada para conectar distintas escuadrías en las correas de las estructuras de las cubiertas.

Tras el marcado de la forma de la espiga a partir de la línea central de la escuadría en la primera pieza, el carpintero corta con una sierra los planos principales y se rebajan los entrantes intermedios con un cincel. La línea que define la cabeza se realiza ligeramente oblicua para la junta se mantenga apretada a medida que se inserta. El vaciado de la caja donde se insertará la espiga se inicia con la ayuda de un taladro, continuando con una sierra y un cincel manejado en ángulo. El carpintero deja el plano horizontal inferior de la caja con una cierta inclinación para facilitar el montaje de la junta.



2.2.4
Junta de empalme en cuello de cisne. Azby S. Brown. *The genius of Japanese Carpentry. The secrets of a craft.* Tokyō: Kodansha International, 1995. p.87-91.

Para la conformación de una junta de empalme en cuello de cisne el carpintero primero marca la forma de la espiga tomando como referencia la línea central de la primera pieza. Después, el carpintero corta con una sierra los planos principales y se rebajan los entrantes intermedios con un cincel. La línea que dará forma a la cabeza se realiza con las paredes ligeramente inclinadas para garantizar el ajuste de la junta conforme se va insertando. El vaciado de la caja donde se introducirá la espiga se realiza con una sierra y un cincel manejado en ángulo. El carpintero deja el plano horizontal inferior de la caja con una cierta holgura para facilitar el ensamblaje de la junta.

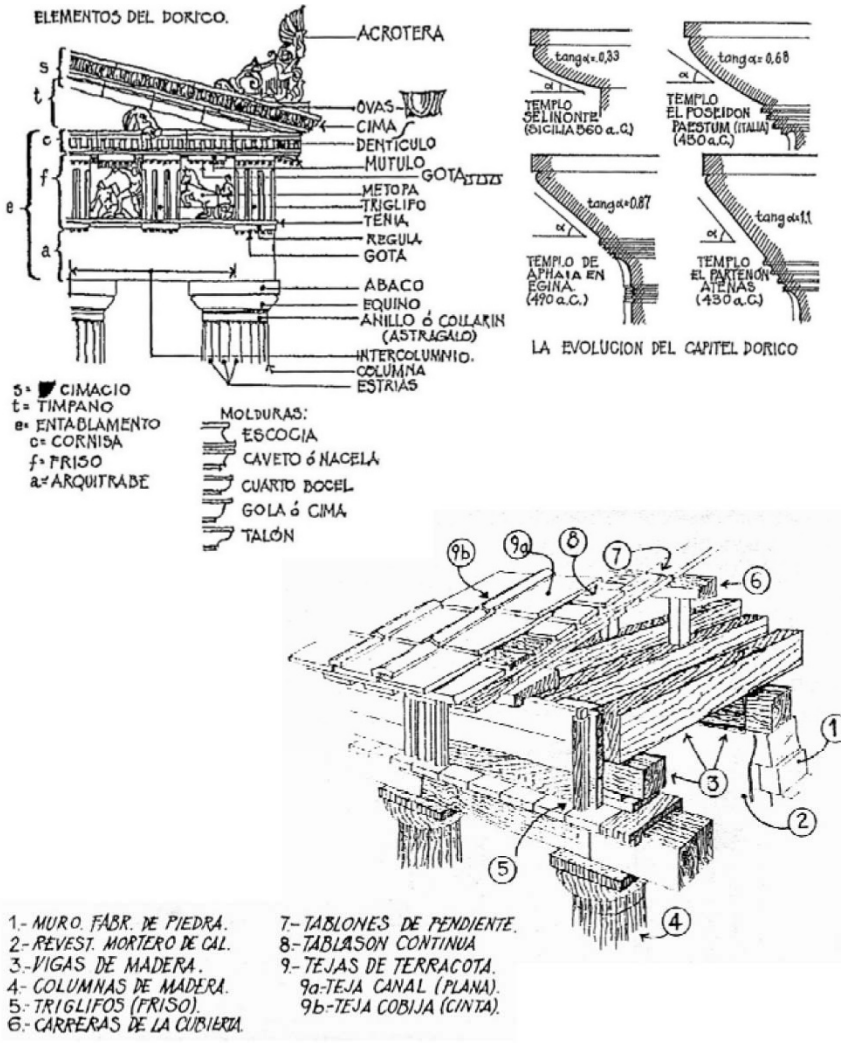
2.2.5. CONFORMACIÓN MIMÉTICA

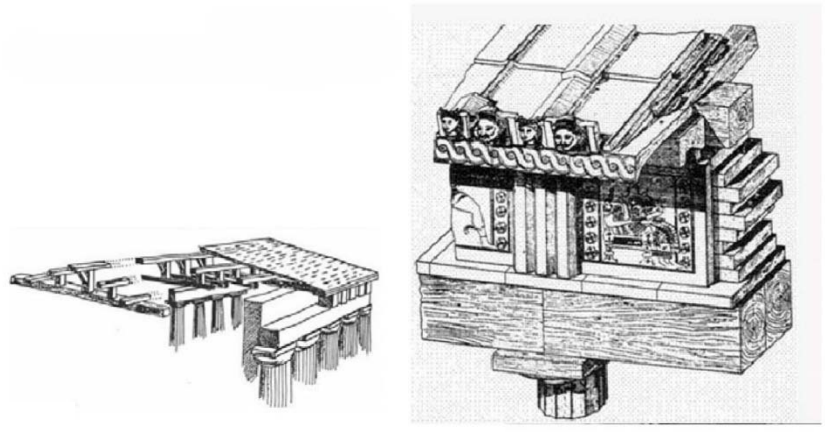
.....

Los primeros templos dóricos de las antiguas civilizaciones del mundo occidental construidos en piedra presentaban un aspecto bastante tosco. Este hecho ha sido justificado en innumerables ocasiones por el mimetismo funcional de sus elementos con el templo primitivo dórico construido en madera.

El friso del templo de madera era una gran masa de tablas tendidas sobre las que descargaban las vigas transversales. Estas tablas horizontales se cubrían al exterior con tablas dispuestas sobre su canto, cuyas uniones quedaban ocultas tras tres listones verticales de juntas acanaladas. Los pequeños conos truncados situados bajo los mútulos y las tenias de la construcción en piedra se corresponden con las cuñas y espigas de fijación de las tabillas y triglifos de la construcción en madera. Del mismo modo, las estrías de la columna dórica se pueden asociar con las caras poligonales de las columnas de madera consecuencia del desbastado con azuela realizado por el carpintero.

Posteriormente el orden dórico, ya en piedra, evolucionaría hacia la ligereza visual de sus elementos elevando su columna, que se mantendría sin basa, y peraltando el perfil de su capitel. También reduciría su friso, añadiendo al mismo tiempo más ritmo y decoración. La cubierta contribuiría a esta aparente levedad reduciendo la inclinación de sus faldones.





2.2.5
Primeros templos dóricos.
Francisco Ortega Andrade
La Construcción en Grecia III.
Revista de Edificación. RE.
nº 14. Junio 1993. p.69.

La segunda mitad del siglo VII a.C. se estableció como el período de experimentación en el cual se consolida el Orden Dórico y se acepta e introduce el Orden Jónico como lenguaje propio de la construcción del templo griego, que más tarde, se aceptaría para casi todos los edificios públicos. Para el año 450 a.C., con la construcción del templo de Aphaia en Egina, se puede estimar que el Orden Dórico encuentra toda su madurez y belleza.

2.2.6. CONFORMACIÓN DE LA PIEDRA EN EGIPTO

.....

La búsqueda de las primeras arquitecturas reversibles nos lleva a las primeras civilizaciones superiores. Forma, peso y tamaño de las piezas ya era entonces determinante.

En torno al año 2680 a.C., bajo el mandato del Faraón Djeser, la piedra se establecería como principal material de construcción en el Antiguo Egipto y también como el más acorde con el concepto de eternidad y de la existencia después de la muerte. En sus comienzos, la construcción en piedra continuaría lo aprendido para la fábrica de ladrillo, elemento habitual en las construcciones egipcias, empleando pequeños sillares muy cuidados y homogéneos para más adelante ampliar sus dimensiones hasta llegar a los inmensos colosos e imponentes obeliscos monolíticos. Para la extracción de las piedras blandas de la cantera se excavaban entre los bloques profundas zanjas de separación en las que se introducirían pesadas palancas de madera [34] .

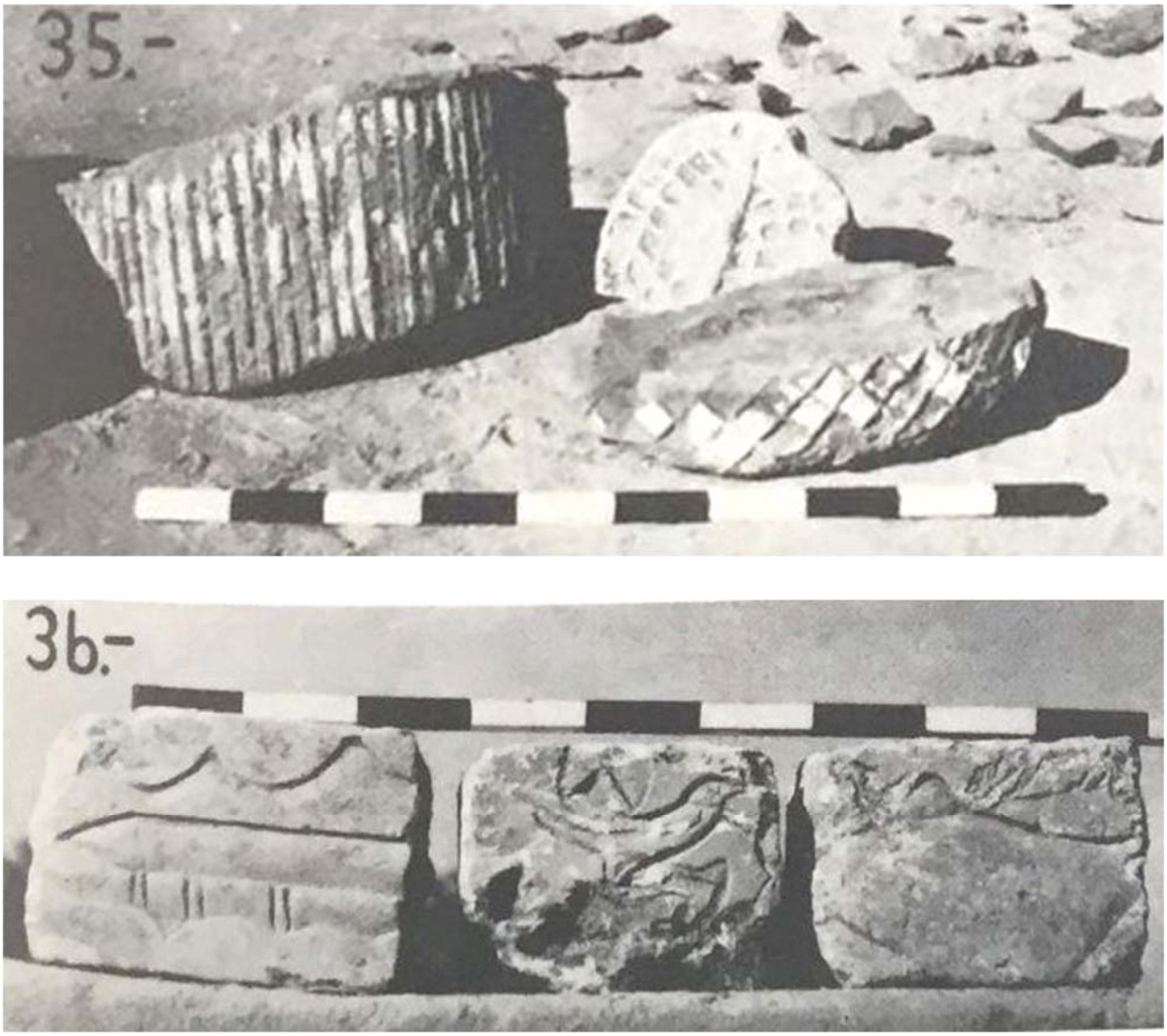
34
Rafael Agustí Torres. *Materiales y métodos de construcción en el Antiguo Egipto.* 2017

En el s.XIV a.C. Akhenaton volvería a reducir el tamaño de sillares de construcción. El faraón ordenaría emplear los llamados “talatat”, bloques de piedra arenisca de un codo real en su longitud de dimensiones muy inferiores a las empleadas habitualmente en el Antiguo Egipto, para la construcción de la nueva ciudad imperial, Tel El-Amarna, acelerando enormemente su ritmo de construcción y permitiendo el traslado y reutilización de estas piezas a otros lugares del Imperio cuando ésta fue abandonada.

El tamaño estandarizado de estos bloques, que medían alrededor de medio metro de longitud (52x26x20-24cm aprox.), y el peso de los mismos (50-60kg), mucho más reducido que los bloques habituales del momento [35], hicieron que fueran más fácil construir con ellos.

35
Arris H. Kramer. *Talatat shipping from Gebel el-silsileh to Karnak. A literature survey.* Journal: Bibliotheca Orientalis no.66 2009. p. 5-20

Los 'talatats' se emplearon en la construcción del Templo de Atón en Karnak, y del Gran Templo de Atón entre otros edificios de la ciudad de Tel El-Amarna. Cuando estos edificios fueron desmantelados, 45.000 ejemplares de estos bloques fueron reutilizados para la construcción de la Gran Sala Hipóstila de Karnak y los pilonos segundo y noveno del mismo templo.



2.2.6
Bloques de piedra de Tel el-amarna. Henry Frankfort. *The city of Akhenaton. Part I.* Pendlebury J.D.S.1933. 60a-60b.

Los templos del Reino Nuevo de Karnak generalmente se construían con pesados bloques de piedra caliza de aproximadamente 1m3. Sin embargo, Akenatón propndría construir con piezas de piedra más pequeñas de dimensiones estandarizadas. Los bloques de construcción de Akenatón tenían dimensiones de 52 x 26 x 20-24 cm. El formato supuso un importante cambio tecnológico y sirvió de ayuda para las rápidas reformas bajo Akenatón.

2.2.7. CONFORMACIÓN DE LA PIEDRA EN GRECIA

.....

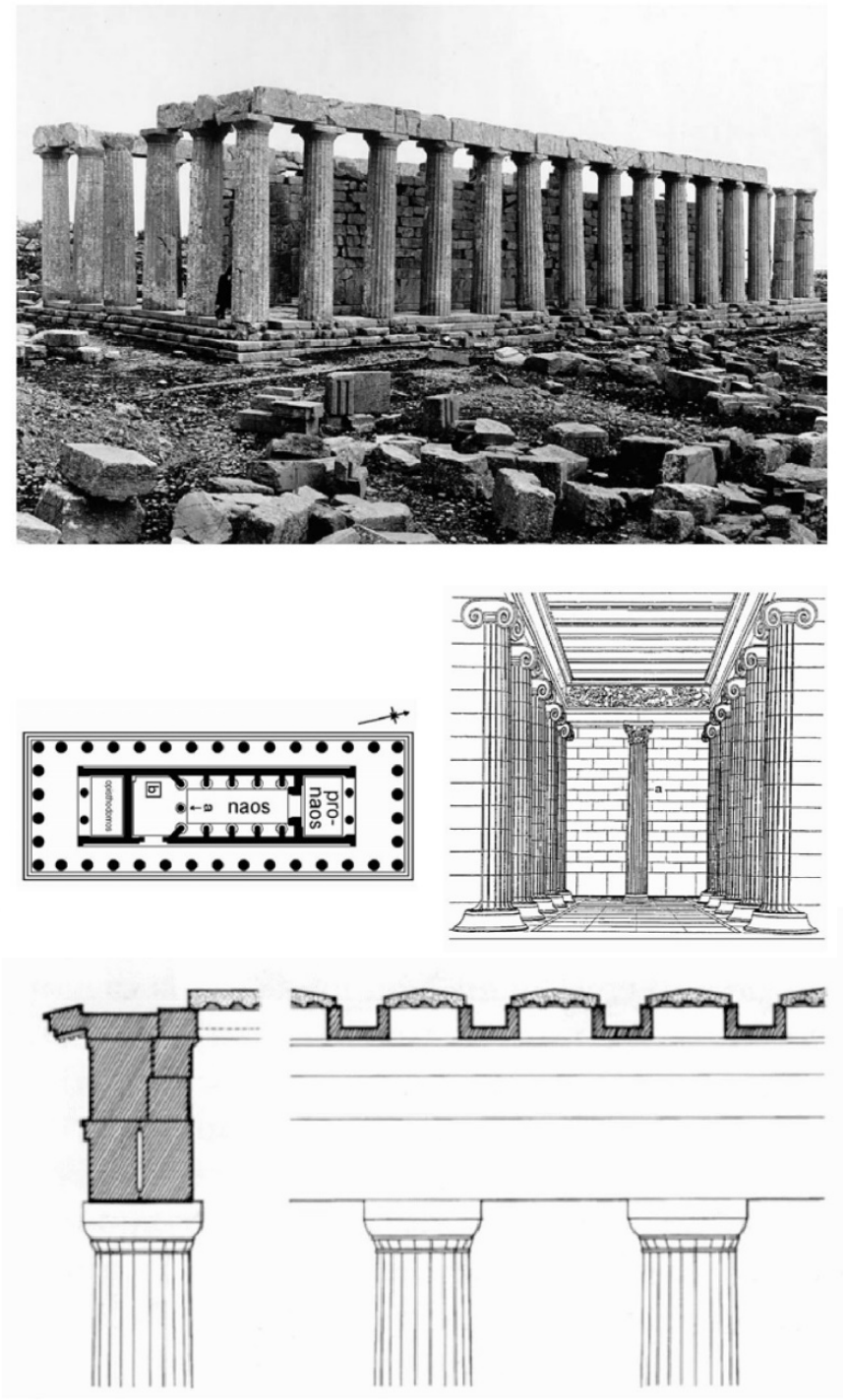
Al intensificarse el empleo de piedra para levantar los principales edificios de las ciudades de la Antigua Grecia, los constructores de la época arcaica ingeniaron técnicas de conformación para facilitar el desplazamiento de las piezas. Las fuentes de obtención del material de mejor calidad se encontraban a menudo alejadas del lugar de construcción y el objetivo principal era rebajar los costes de transporte.

Ictino llegaría a ordenar el vaciado de los bloques de mármol procedentes de la isla griega de Paros por su lado superior, que quedaría invisible, para colocarlos en el techo del templo de Apolo en Bassai en el 400 a.C.. En esta construcción las vigas del techo serían ahuecadas adoptando forma de U. La reducción del peso de la viga en casi la mitad de su valor traería consigo indudables ventajas para su manipulación[36].

Además, esta forma aportaría a las piezas una evidente lógica estructural: mediante el vaciado se reducía el lado de la viga que soportaba menos compresión crítica, permaneciendo sin disminución en el lado sometido a tracción. Esto indica que los arquitectos de la época ya entendían que la piedra se encontraba principalmente sometida a esfuerzos de compresión en sus construcciones.

Las piezas destinadas a soportar el artesonado del Hieron de Samotracia, construido en el 340 a.C., serían conformadas con cantos variables buscando la máxima eficacia de la estructura y obteniendo vigas de piedra de resistencia equivalente. Las vigas del techo, de más de seis metros de luz, se mantenía en pie gracias a la variación del canto de las mismas, que crecía al acercarse al punto medio de su longitud. Esta maniobra aumentaba de manera eficaz el trabajo de las vigas en el centro del vano, quedando al mismo tiempo oculta desde la cara inferior del artesonado.

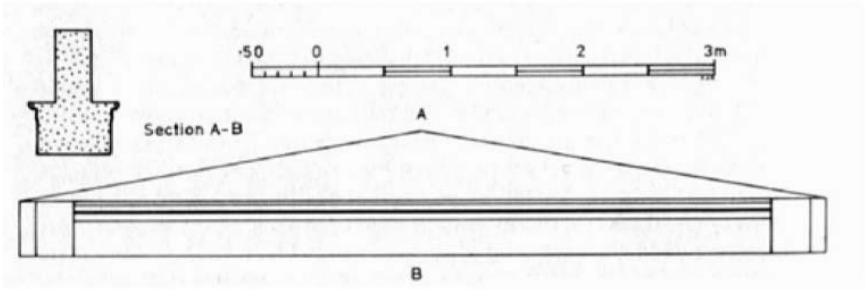
36
J.J. Coulton. *Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design* (pp. 140-147). Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977) .

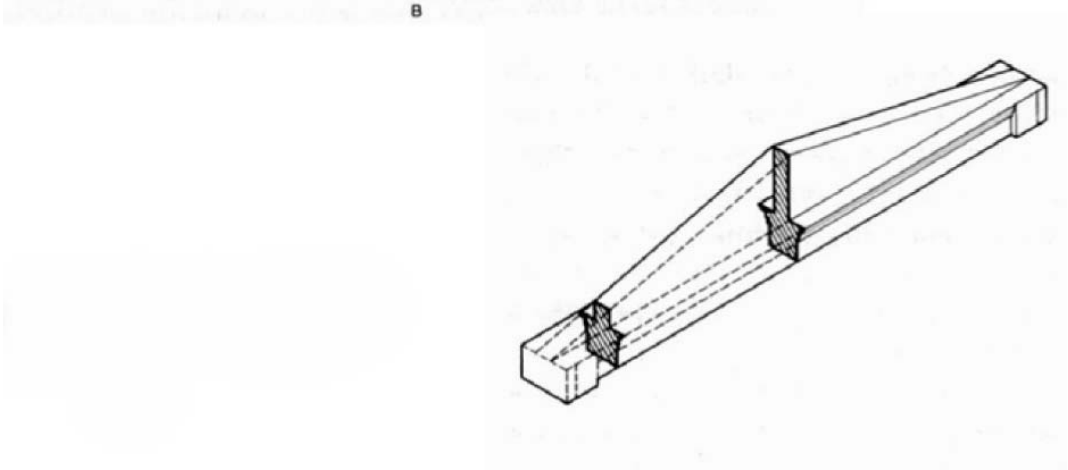


2.2.7.a
Templo de Apolo en Bassai (c.400 a.C.). J.J. Coulton. Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 148.

Templo de Apolo en Bassai (c.400 a.C.). John James Coulton (1940-2020), arqueólogo clásico y reconocido experto en arquitectura griega, tenía un interés específico en los principios del diseño arquitectónico, especialmente de las stoas y los templos, y en la naturaleza y el desarrollo de la ciudad antigua. A lo largo de su carrera, se dedicó a la arqueología de campo, tanto en excavaciones como en estudios, y participó en proyectos en Grecia, Turquía, Irán, Jordania y Libia. Aportó sus métodos exigentes y su mirada penetrante a todos los equipos a los que se unió o dirigió, y a los dibujos y reconstrucciones que realizó y publicó.







2.2.7.b
Hieron de Samotracia (360 a.C.). J.J. Coulton. Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 147.

Hieron de samotracia (c.360 a.C.). Después de enseñar en Cambridge, Coulton ocupó una serie de puestos académicos, primero en la Universidad Nacional Australiana, Canberra (1964-1968), como profesor de Estudios Clásicos, seguido de una breve temporada en la Universidad de Manchester (1968-1969), y luego en la Universidad de Edimburgo como miembro del Departamento de Arqueología. En 1979, fue nombrado profesor de Arqueología Clásica en la Universidad de Oxford y miembro del Merton College. Coulton permaneció en Oxford hasta su jubilación

2.2.8. CONFORMACIÓN DE LA PIEDRA EN ROMA

.....

En el proceso de extracción de los bloques de piedra en las canteras del Imperio Romano se mantuvo un equilibrio entre la eliminación máxima de piedra superficial y la conservación de la masa suficiente para asegurar la conservación de las piezas hasta su destino. Para la extracción los canteros solían aprovechar las fisuras existentes de la roca ya que esto suponía un ahorro de material y de tiempo de trabajo. Si éstas no existían entonces delimitaban su perímetro por medio de incisiones realizadas a distancias regulares en la piedra y se introducían cufias de madera o metal. Las de madera al mojarse dilataban, y su aumento de volumen forzaba los orificios dando lugar a la rotura de la piedra. En cantera se realizaba un esbozado previo del bloque definiendo a grandes rasgos su forma y se incluía el esquema ornamental sobre el mismo. En el lugar de destino se realizaban las tareas de acabado de las piezas.

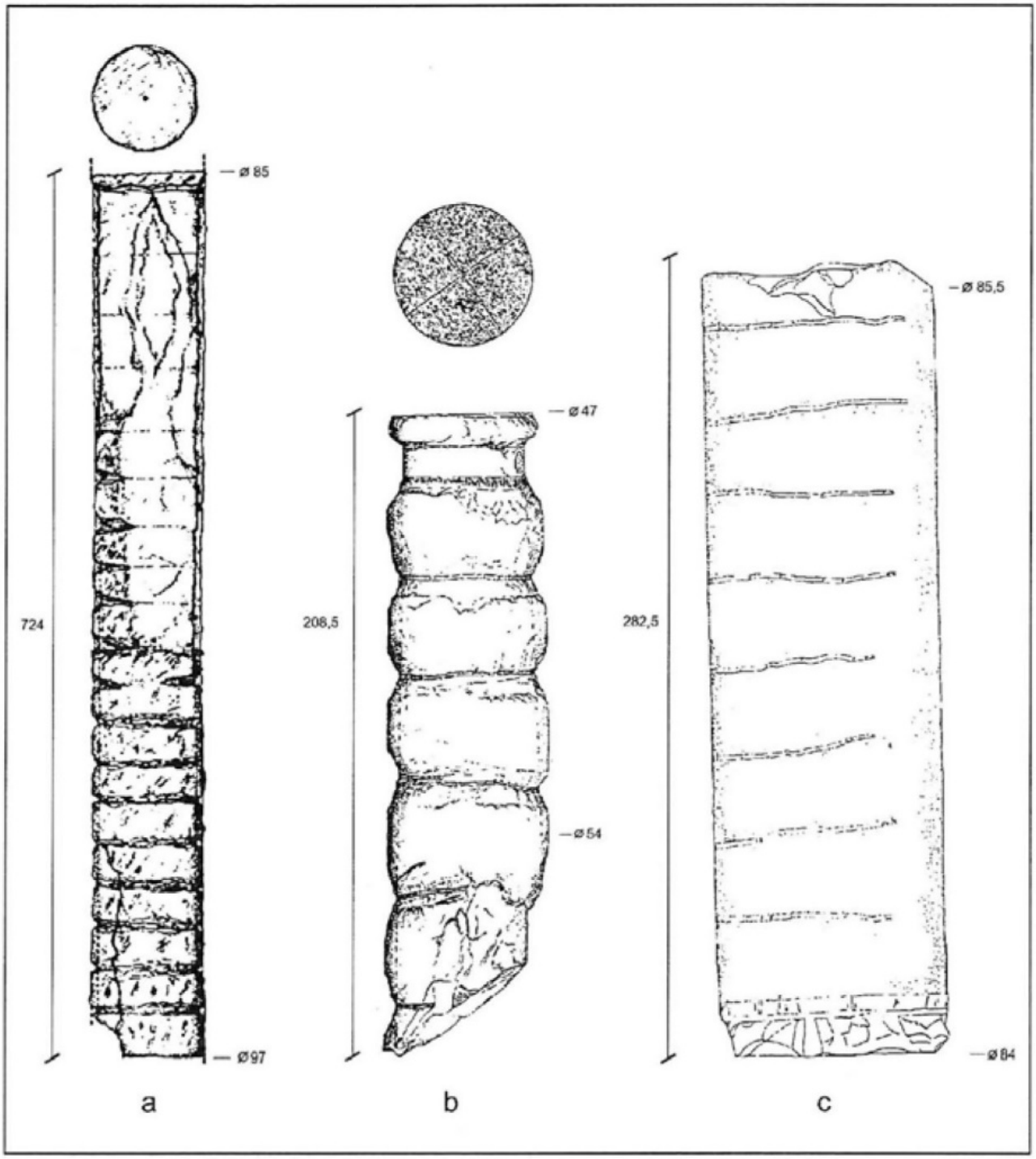
La fabricación no era la misma para todas las piezas que formarían parte de las distintas construcciones. Los fustes salían de cantera con un grado de acabado superior que las basas y los capiteles. Esto se debía a que era posible obtener una forma cilíndrica similar a la forma definitiva de manera sencilla en el frente de cantera. Para ello se realizaban una serie de surcos horizontales en forma de anillos cuya profundidad determinaba el perfil de contractura de la columna.

En relación a la producción de estas piezas, se alcanzaría tal grado de estandarización que el cálculo de las dimensiones del diámetro menor y de sus proyecciones en imoscapo y sumoscapo se realizaría de prácticamente de manera automática. Esta sistematización morfológica hizo más eficaz y rentable el trabajo de cantera, además de facilitar la comercialización de los fustes [37] .

Sobre las piezas también se realizarían orificios para facilitar su elevación, transporte y ensamblaje en el lugar de destino.

Una vez que los bloques estaban preparados para su traslado podían inscribirse o dibujarse sobre ellos marcas de identificación de la cantera de origen o marcas de destino.

37
Hazel Dodge, Bryan Ward-Perkins, (Eds.). *The Roman System in Operationn. Marble in Antiquity. Colledted Papers of J. B. Ward Perkins,* Archaeological Monographs of the British School at Rome, n.6, ap. V, p. 23-30.



2.2.8
Fustes romanos inacabados. Oliva Rodríguez Gutierrez. *Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos.* CuPAUAM 24, 1997, p. 218.

Las piezas que se han encontrado en el teatro de Itálica presentan distintos orificios y marcas que nos dan pistas acerca de cómo manejaban, trasladaban, y montaban los bloques de piedra los antiguos constructores romanos.
El teatro romano de Itálica fue construido sobre el Cerro de San Antonio, al este de la que fue primera ciudad romana en Hispania, Itálica, situada en el actual término municipal de Santiponce, en Andalucía (España). Fue fundada en el año 206 a. C.

2. 3. UNIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Unir

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Del lat. *unīre*.

1. tr. Hacer que una cosa esté al lado de otra, o en contacto con ella formando un todo.

2. tr. Mezclar o trabar algunas cosas entre sí, incorporándolas.

3. tr. Atar o juntar una cosa con otra, física o moralmente.

4. tr. Acercar una cosa a otra, para que formen un conjunto o concurran al mismo objeto o fin.

[…]

12. prnl. Cesar la oposición positiva o aparente que había entre dos o más cosas.

[…]

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo II. p. 849.

"La unión real es la que tiene lugar en objetos físicos o reales, pudiendo ser entonces unión de fenómenos por relación de causa a efecto, de substancia y accidente, etc., o bien unión de objetos por suma, agregado, yuxtaposición, etc.

[…] Cada uno de los tipos indicados de unión puede, además, manifestarse de diversos modos. Mencionamos como ejemplos la simple yuxtaposición, la mezcla (ya sea simple mezcla o bien fusión), la coordinación, la serie ordenada, la unión orgánica y la estructural.

En lo que toca a los elementos mismos unidos, puede hablarse, como antes se hizo, de elementos lógicos, reales y epistemológicos, pero más específicamente puede hablarse de distintos elementos como los siguientes: causa y efecto; accidente y substancia; substancias para formar una substancia compuesta o vínculo substancial, unión substancial de forma y de materia, unión de medios con fines, de pensamiento o voluntad con el objeto intencional, de partes con todos, de pedazos con todos, de elementos con conjuntos o estructuras, etc."

.....
Stephen Kieran, James Timberlake. *Refabricating Architecture. How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. Ed. Mc Grahan Hill. Nueva York. 2004.

"La producción se convierte en parte del proceso de diseño al trabajar con montadores desde el principio; los diseñadores reflejan como las cosas son realizadas, su secuencia de ensamblaje, y los sistemas de unión."

"[…] con la llegada de la industrialización los detalles dejaron de ser cosa de artesanos y se convirtieron en el dominio de los dibujos de producción o trabajo, realizados por arquitectos e ingenieros […]. Con la industrialización los edificios se ensamblan, antes se construían".

. . . . . .
Richard Weston. *Materiales Forma y Arquitectura*. Blume, 2003.

"Traditional Japanese architectural joinery is executed largely without the aid of nails. Its complex geometry evolved over the centuries from a basic problem-solving approach (how to resist earthquakes, how to create long-spanning timbers from smaller stock) to a highly aestheticized display of ingenuity and skill. The pleasing geometry of each joint corresponds to structural necessity: a tight fit between properly sized surfaces is essential for resisting shear and bending stresses."

. . . . . .
Mark Mulligan, Yukio Lippit. *The thinking hand. Tools and traditions of the Japanese carpenter*. Edwin O. Reischauer Institute of Japanese Studies Harvard University 2014. p. 28.

"El cuerpo vivo es un todo integral e indivisible, en el que no podemos encontrar, por mucho que busquemos, una línea divisoria clara entre la cabeza y el cuerpo, el músculo y el tendón, la fibra y el hueso. Los caracteres que nosotros hemos diferenciado insisten en integrarse de nuevo; y algunos aspectos del organismo, verdaderamente ligados, sólo están separados en nuestra imaginación. El diagrama de coordenadas revela la solidaridad integral del organismo."

. . . . . .
D'arcy W. Thompson. *El crecimiento y la forma*. H. Blume Ediciones.1980. p.VIII

2.3. UNIÓN

.....

Partimos de la realidad del objeto construido como mecanismo de partes conectadas, en los que los sistemas de unión de éstas son un elemento más que participa de forma decisiva en la configuración final del edificio.

A diferencia de la junta húmeda, en la que se incluye la soldadura, cuyo desmontaje implica la rotura de las partes coincidentes en ella y que da como resultado un objeto íntegro por adición o prolongación de los fragmentos añadidos, la junta seca se presenta como aquella que sí se puede descomponer. En este tipo de junta confluyen elementos íntegros en tamaño y configuración, lo que da por resultado un engranaje de piezas que genera un conjunto completo al mismo tiempo que una entidad múltiple compuesta por la cantidad óptima y necesaria de elementos.

La relación de las partes entre sí y con el todo dará testimonio de las capacidades de los materiales empleados, del proceso constructivo, de las proporciones de los elementos, de la forma y del equilibrio del conjunto.

Frente a la creciente evolución técnica de las piezas y de su unión, que ha tenido lugar desde los primeros tiempos y que ha pasado por la especialización material y funcional de la junta, si volvemos la vista atrás vemos cómo los materiales empleados en las construcciones en la antigüedad eran pocos y poco variados.

Esto dio como resultado una construcción conformada a partir de uniones elementales, a la vez que generó soluciones sorprendentes con sencillos sistemas uniformes, como los empleados en la antigua Roma. Las leyes estereotómicas establecieron durante estas primeras etapas unos

conocimientos aplicados que serían la base de la construcción hasta pasada la Edad Media.

La aparición y estandarización de la producción de acero supondría toda una revolución. En la búsqueda de la ligereza como la máxima aspiración de la era moderna se desarrollarán una infinidad de elementos y uniones en los que en ocasiones el protagonismo de la pieza se difuminará entre una compleja trama de juntas, como ocurre en la construcción de la arquitectura del hierro del siglo XIX. A partir de ahí, la evolución pasará por la individualización técnica de los distintos elementos dentro del edificio.

Este contexto exige la puesta en valor a lo largo del tiempo de aquellas soluciones en las que se hace presente el equilibrio claro y universal entre piezas, juntas, forma y estabilidad del edificio, de manera duradera y estable, y en las que el sistema de ensamblaje de sus piezas permitiría o habría permitido la opción del desmontaje. Más allá de las propuestas temporales, de las soluciones de emergencia, o de las ligeras construcciones nómadas, el interés se centra en aquello construido con piezas transformadas unidas con junta desmontable, capaz además de perdurar como cualquier otra solución basada en la unión permanente y monolítica de sus miembros.

2.3.1. UNIÓN Y POSICIÓN

.....

Volviendo la vista en busca de compendios teóricos del arte de construir en la antigüedad y de sus sistemas de montaje, el primer tratado de arquitectura encontrado es el escrito por Vitruvio en el siglo I a.C.. *De Architectura*, descubierto en el monasterio de Saint-Gall en 1415, influiría de manera decisiva en el curso de las ideas arquitectónicas renacentistas. La práctica tradicional dejaría de ser la verdadera fuente de conocimiento para ser reemplazada por el convencimiento en la autoridad de la arquitectura clásica. A pesar de las limitaciones técnicas de su contenido, el tratado sería tomado por los arquitectos del renacimiento como modelo a seguir en sus propios escritos.

La intensa actividad de los canteros durante la Edad Media europea, que desarrollan la talla de la piedra en la construcción de las grandes catedrales, terminó por germinar en diversos tratados en el Renacimiento. A partir del siglo XVI estos tratados pasan a ser más específicos, detallando las formas de cada pieza con mayor atención, y recibiendo el nombre de cortes de cantería o arte de montea. Estaban escritos por arquitectos y maestros de obra para sus aprendices, sin estar en principio destinados a su publicación. Eran de índole eminentemente gráfica, de manera que contenían una serie de láminas con cálculos geométricos para la talla y la colocación de las piezas.

No será hasta el siglo XVIII cuando se empiece a denominar "estereotomía" al arte de cortar piedras y maderas para colocarlas en su lugar. A partir del siglo XIX también se aplicará este término al diseño de las piezas de hierro.

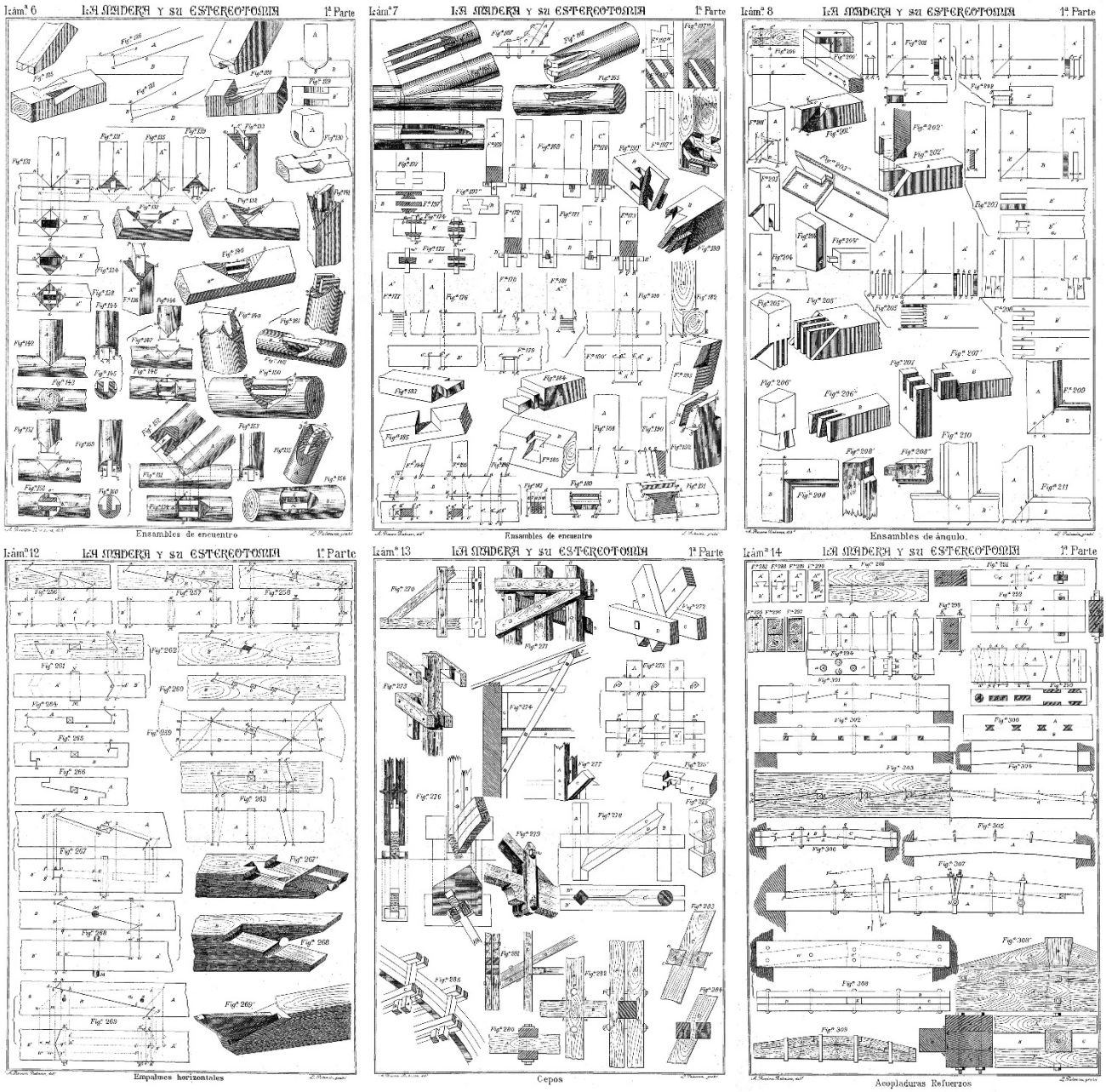
Choisy (1899) sistematiza en sus textos las técnicas constructivas particulares de los pueblos y culturas de las primeras épocas entre los que encontramos innumerables ejemplos de montajes con junta seca. Viollet le Duc (1858) y Heyman (1993), entre otros, harán lo propio en cuanto a la explicación de las estructuras medievales. Kiyoshi Seike (1977) y William Coaldrake (1991) se referirán a la arquitectura tradicional japonesa, llegando a definir las distintas uniones de ensamblaje.

En el siglo XIX la ciencia de la construcción traerá unos tratados que reúnen los conocimientos de todos los sistemas anteriores. Su más claro exponente en Europa es el Tratado de Rondelet como referente claro hacia la practicidad de esta nueva ciencia.

El rápido avance tecnológico y la aparición de nuevos materiales y sistemas en los comienzos del siglo XX provocan el abandono de la tradición y de sus tratados.

Se desarrolla el sistema constructivo moderno de esqueleto independiente y cerramiento ligero que será tomado como base para muchos de los razonamientos teóricos que se desarrollarán hacia la mitad de siglo.

La construcción adopta ahora un camino muy diferente al recorrido en el pasado, convirtiéndose en una ciencia principalmente experimental basada en el ensayo y el error, y pronto contará con sus propios manuales.



2.3.1
Ensambles de encuentro, de ángulo, empalmes horizontales, cepos, acopladuras y refuerzos en madera. Antonio Rovira. La madera y su estereotomía. Librería de Álvaro Verdaguer. Barcelona 1900.

Antonio Rovira i Rabassa (1845-1919) fue un arquitecto barcelonés hijo del también arquitecto Antoni Rovira i Trias. Se tituló en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en 1867. Fue profesor de geometría descriptiva en la Escuela de Maestros de Obras, y catedrático de la ETSAB.
Diseñó y construyó varias obras entre las que destacan diversas casas en Barcelona de estilo modernista.

2.3.2. UNIÓN UNIDIRECCIONAL EN EGIPTO

.....

La arquitectura de las primeras civilizaciones del mundo occidental fue una arquitectura fundamentalmente de líneas rectas y techos planos en la que vigas, dinteles y arquitrabes llegaron incluso a ser prismas de piedra de una sola pieza.

Movidos por un sentido de aprovechamiento máximo de la piedra y con una confianza plena en la labra final, los egipcios aparejaron las columnas, incluidos los capiteles, del mismo modo que hicieron con los muros, llegando incluso a no enrasar las hiladas. Sólo algunas columnas de granito, como las del templo de Kefrén, se hicieron de una sola pieza. De este modo los distintos tambores aparecían partidos o compuestos por varias piezas, algo que no se volverá a encontrar ni en la arquitectura griega ni en la romana.

En el resto de piezas, las dimensiones serían cada vez más grandes hasta llegar a ser inmensos monolitos de piedra. La arena tendría un papel fundamental en todas estas construcciones al servir como material de apoyo para garantizar el correcto posicionado de las piezas.

Los bloques de las hiladas de apoyo de los muros en el terreno aparecían en ocasiones enlazados con piezas de madera en forma de cola de milano, como elemento de conexión entre piezas, para evitar el desplazamiento de los elementos durante su ejecución y una vez finalizado el muro. Este tipo de uniones las podemos encontrar en el Templo de Edfú, construido durante el periodo helenístico del Antiguo Egipto.



2.3.2
Huellas de enlaces de piedras con piezas de madera en forma de cola de milano. 1904. F. Auguste Choisy.

François Auguste Choisy (1841-1909) fue un ingeniero, historiador y teórico de la arquitectura francés. Junto con Viollet-le-Duc y Guadet, fue uno de los tres historiadores de la arquitectura decimonónicos que más influyeron en la gestación de la arquitectura moderna. Su visión de la historia de la arquitectura es técnica; identifica la buena arquitectura con la buena construcción y explica la sucesión temporal de los estilos según las expresiones tectónicas de una sociedad en relación con su medio físico.

2.3.3. UNIÓN UNIDIRECCIONAL EN GRECIA

.....

Durante la Grecia Clásica, elementos metálicos en forma de grapas serán los encargados de asegurar la posición de las piezas. En esta época la unión fundamental seguirá siendo el apoyo simple, que vendrá acompañado de distintas estrategias de estabilidad en las construcciones. Las piedras se colocarán a hueso con lo que deberán contar con una superficie de apoyo lo más plana posible.

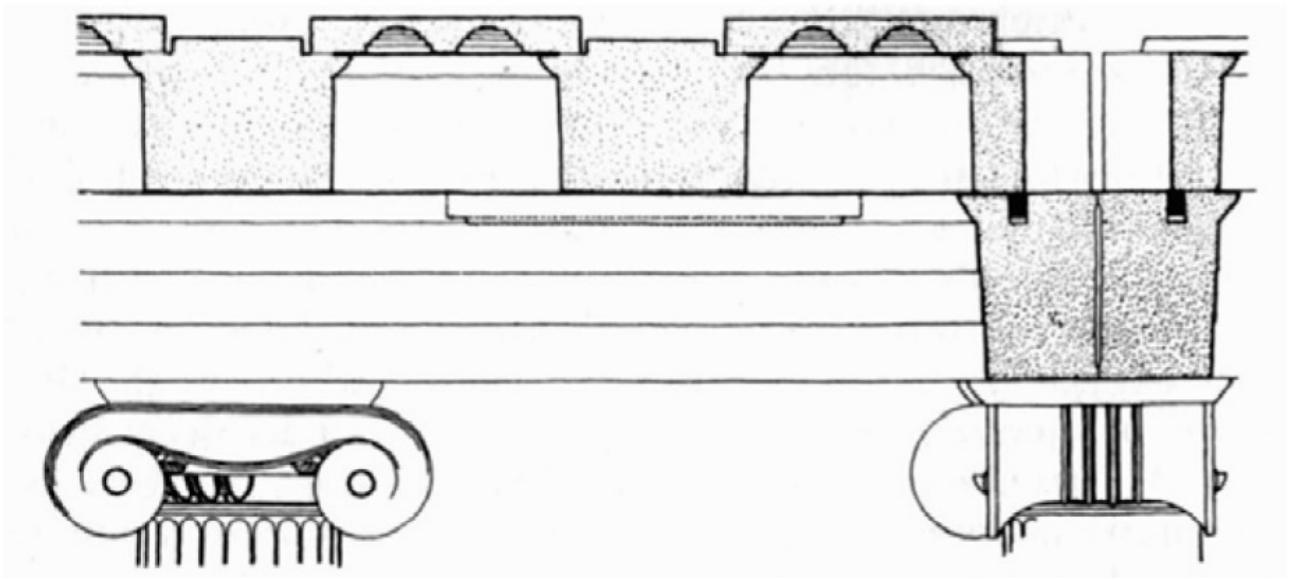
En los Propileos de Atenas, levantados por Mnesicles durante el s.V a.C., se identificó una técnica que aumentaba la seguridad estructural de la construcción. Las vigas del techo de mármol que apoyaban en el centro de la luz del arquitrabe jónico producían una flexión -y por lo tanto una tracción asociada- significativas. Para reducir esta flexión se colocaban barras de hierro en las caras superior de los arquitrabes en una hendidura que dejaba una profundidad de un par de centímetros más por debajo de las barras para permitir que se curvasen sin entrar en contacto con el arquitrabe. De este modo, estas barras actuaban como 'vigas de descarga' independientes de las vigas de piedra.

Una estrategia similar se identificó en el Templo de Zeus Olímpico en Akragas construido durante la misma época. La luz de los dinteles de este templo llegó a ser de hasta cuatro metros, distancia muy superior a la estandarizada en el templo griego de la época.

Además de la inclusión de grandes estatuas para sostener estos dinteles en sus centros, y de levantar muros de fábrica entre las figuras y las columnas, el arquitecto se vio obligado a añadir barras de hierro en las zonas en voladizo de los dinteles para reforzar el dintel de piedra ante las cargas combinadas del entablamento y del techo.

La debilidad del material de construcción principal de los templos griegos, la piedra, ante esfuerzos de tracción, limitó las posibles variaciones de diseño de estas construcciones llevándolas a su estandarización.

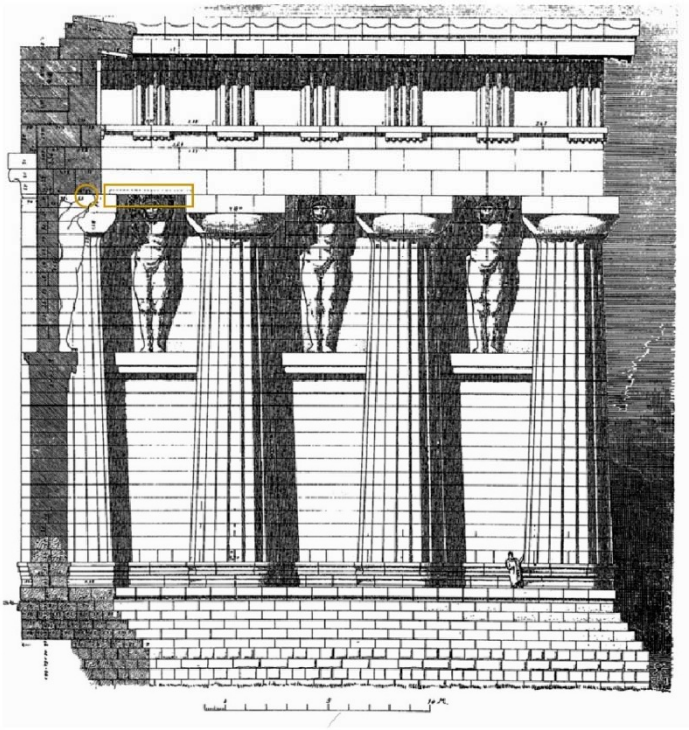


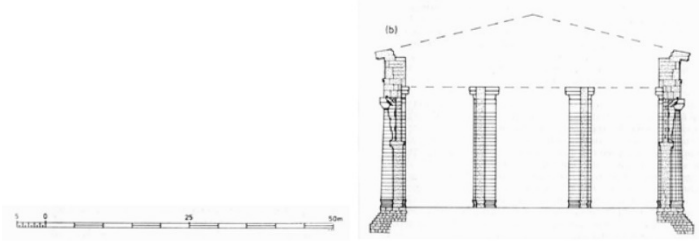


2.3.3.a
Detalle de los Propíleos de Atenas s.V a.C. J.J. Coulton. Ancient *Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design*. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 114.

Los Propileos son el único acceso occidental a la Acrópolis de Atenas.
Fueron construidos en el marco del programa monumental de Pericles entre 437 y 431 a. C. y sustituyeron a los viejos propileos de época de Pisístrato.
El arquitecto Mnesicles fue quien proyectó los pórticos como si fueran fachadas de templos dóricos.







2.3.3.b
Templo de Zeus Olímpico en Akagras s. V a.C. Robert Mark. *Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica*. Ediciones Akal. 2002.p.156.

Robert Mark (1931-2019), profesor de ingeniería civil y arquitectura, fue pionero en la aplicación de modelos de ingeniería modernos para estudiar la estructura de edificios medievales y antiguos.
Su uso innovador del modelado fotoelástico (una técnica empleada en sus primeros trabajos de diseño de recipientes y componentes de contención de reactores nucleares), así como de la interferometría holográfica, influyeron en la disciplina de la historia de la arquitectura y en el campo de la conservación de edificios.

2.3.4. UNIÓN CONFORMADA EN JAPÓN

.....

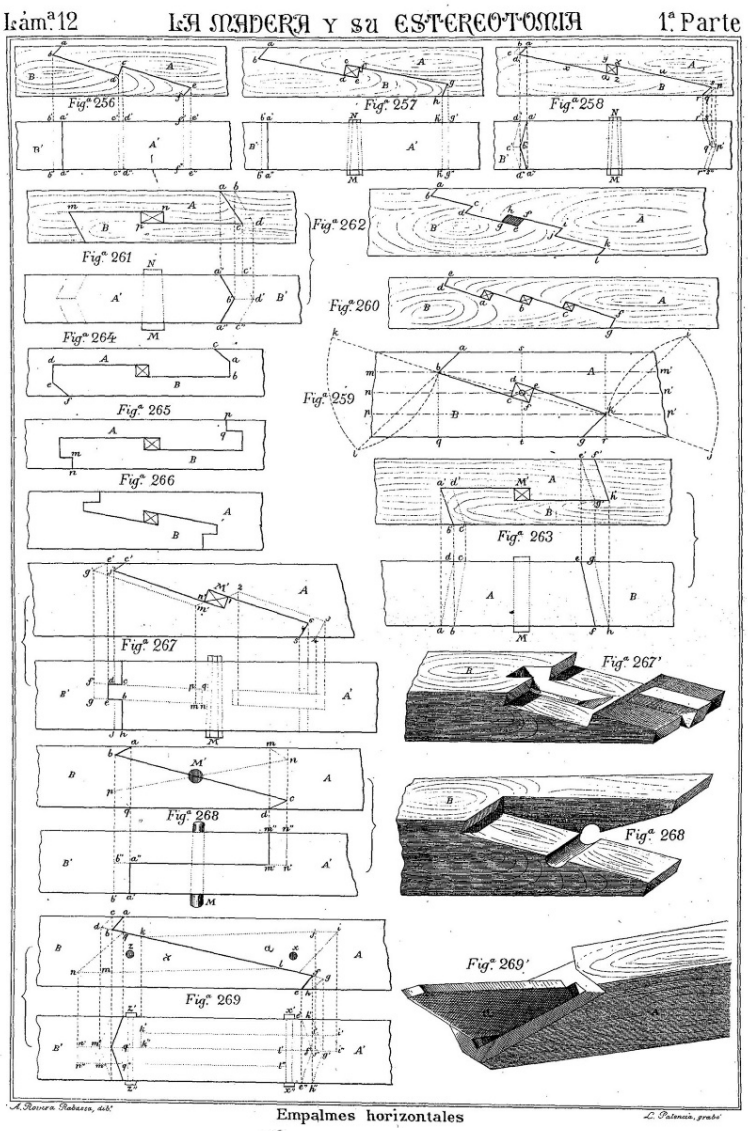
Las uniones tradicionales de madera se basan en la conformación del borde de los elementos de madera para procurar su empalme. En estas juntas la aportación de otros materiales, como el hierro o el acero, es prácticamente inexistente. Los esfuerzos pasan de una pieza a otra a través de cajas o rebajes y de espigas o llaves, estabilizando los esfuerzos axiales mediante compresiones y esfuerzos tangenciales.

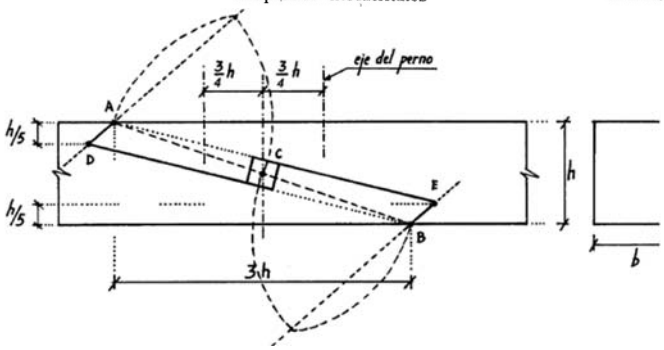
Existen distintos tipos de juntas [38], algunas con una importante complejidad geométrica, pero todas ellas pueden ser fácilmente entendidas tras averiguar el tipo de movimiento que impiden. Una clasificación inicial podría incluir las juntas de empalme, que unirán piezas por sus testas para conseguir una mayor longitud, y las juntas de conexión o acoplamientos, que unirán piezas dispuestas en distinta dirección.

La unión de caja y espiga, por ejemplo, se emplea para conectar pies derechos con piezas horizontales, habitualmente vigas o durmientes. La espiga asegura lateralmente la unión y la carga se transmite por la superficie restante que le rodea, de ahí que la longitud de la espiga suela ser ligeramente menor que la profundidad de la caja para asegurar el contacto.

La junta en Rayo de Júpiter es una unión empleada para el empalme de piezas horizontales en tracción, como los tirantes de las cerchas. El esfuerzo de tracción se transmite de una pieza a otra a través de una compresión paralela a la fibra aplicada sobre la superficie central. El esfuerzo pasa a la sección completa de la viga o del tirante a través de un esfuerzo de rasante de tensiones tangenciales en las superficies conectadas más amplias de la junta. Para asegurar el montaje de la unión y su ajuste se disponen cuñas en el punto central del encuentro que deberán ser de una madera con elevada resistencia a la compresión perpendicular a la fibra.

38
Según Kiyoshi Seike existen más de 400 juntas en la carpintería japonesa. *The Art of Japanese Joinery.* 13th ed. Boston: Weatherhill, 2013





2.3.4
Trazado del Rayo de Júpiter. Luis Montero. *Apuntes sobre Tecnología de la madera*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zamora.1990. p. 268..

El trazado geométrico del Rayo de Júpiter es el siguiente (Montero, 1990). Se marcan los extremos a tres veces la altura de la sección del tirante, h, donde se localizan los puntos A y B. La recta que une estos puntos, línea media, cortan en el centro al eje del tirante en el punto C. Desde los puntos A y C (y B y C) se trazan arcos de circunferencia de radio igual a su distancia, con el fin de obtener un triángulo equilátero. De esta forma, la prolongación de uno de los lados del triángulo ofrece el corte A-D y B-E que terminan al encontrarse con las rectas auxiliares trazadas a 1/5 de la altura de la pieza h. Al unir los puntos A con E y B con D se definen las líneas de corte y el grueso del taco de apriete.

2.3.5. UNIÓN CONFORMADA Y HERRAMIENTAS

.....

Hoy las técnicas de la carpintería tradicional han quedado relegadas a un segundo plano y son aplicadas casi de manera exclusiva a la restauración de edificios históricos.

En este escenario, y para luchar por su supervivencia, los pequeños carpinteros locales japoneses comenzaron a trabajar desde finales de los años 70 en colaboración con distintos fabricantes como Miyagawa Koki o Makita Company (equivalentes a la compañía americana Black and Decker), para el desarrollo de máquinas de control por ordenador que marcarían el último capítulo de la historia de las herramientas del carpintero japonés.

Un técnico no especializado puede realizar con estas máquinas en tan sólo veinte segundos una junta de empalme en cuello de cisne que un carpintero tradicional tardaría al menos veinte minutos en conformar empleando sus propias herramientas de mano y su trabajo físico [39].

Pero, al mismo tiempo, presentan ciertas limitaciones: el acabado resultante puede ser irregular requiriendo un último repaso por parte del carpintero, la precisión exacta del corte del macho y la hembra de la junta puede traer problemas inesperados de montaje por la contracción y dilatación naturales de la madera, y el aceite natural del material, indispensable para asegurar su durabilidad, es eliminado por las sierras de disco de alta velocidad que además queman las superficies de corte por abrasión.

Con su colaboración en el desarrollo de estas máquinas el carpintero no ha hecho más que lo que mejor sabe hacer: crear herramientas basadas en los principios tradicionales establecidos para la obtención de piezas de madera que encajen a la perfección. Quizás en este caso el maestro carpintero haya creado una herramienta que, mientras pretende preservar la forma física de la carpintería japonesa, haya supuesto una amenaza para su propia supervivencia.

39
William H. Coaldrake, *"The Way of the Carpenter. Tools and Japanese Architecture"*. Chapter four. New York: Wetatherhill Inc, 1990.



2.3.5
Fabricación de las piezas del *Research Pavilion 2011*. ICD ITKE. University of Stuttgart.

Las uniones “finger joint” de las piezas de pabellón, se realizaron con el sistema de fabricación robótica de la universidad. Mediante el uso de rutinas programadas a medida, el modelo computacional proporcionó la base para la generación automática del código de máquina (NC-Code) para el control de un robot industrial de siete ejes. Esto permitió la producción económica de más de 850 componentes geométricamente diferentes, así como más de 100.000 uniones dentadas dispuestas libremente en el espacio.

2.3.6. UNIÓN Y EVOLUCIÓN

.....

Partiendo de los sistemas de junta seca por simple presión vertical que podemos encontrar en las primeras construcciones de las civilizaciones occidentales, en el antiguo Egipto o en la Grecia clásica, los sistemas evolucionaron con la introducción del arco y la bóveda romanos y la aparición del llagado activo entre sus piezas.

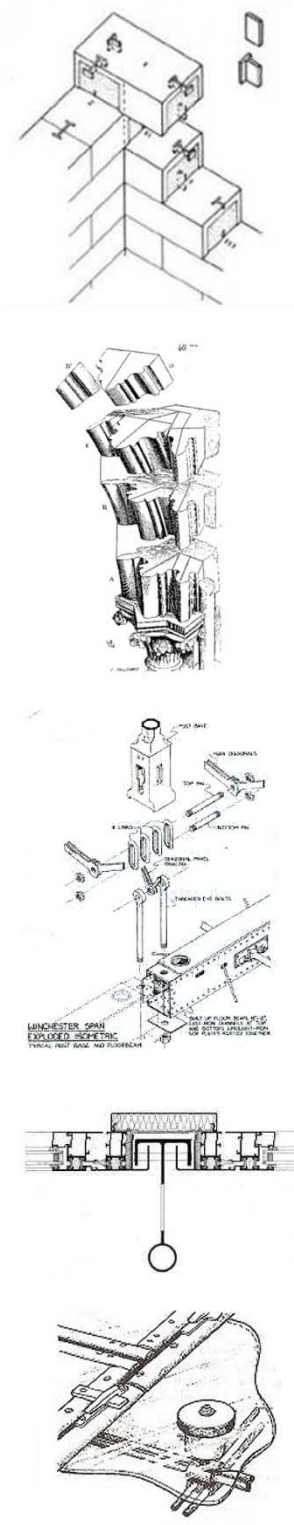
Superados los inicios de la Edad Media la llaga de mortero se hizo imprescindible para el asiento de las hiladas irregulares en las fábricas románicas, y no se abandonó en la construcción del esqueleto flexible de las catedrales góticas.

El seguimiento de la construcción en madera de los primeros tiempos, realizada a partir del ensamblaje de piezas de distintas secciones, obliga a detenerse por un lado en la arquitectura de los templos orientales y por otro en las stavkirke o iglesias medievales noruegas de madera.

La búsqueda de la eficacia en el diseño sitúa a la ligereza como la máxima aspiración de la construcción moderna. En la transición hacia este nuevo objetivo se desarrolló un universo de elementos y juntas en el que en ocasiones el protagonismo de la pieza fue difuminado entre una compleja trama de uniones como ocurre en la construcción de la arquitectura del hierro del siglo XIX. La evolución de la modernidad pasará por la introducción de nuevos materiales y la especialización de los distintos elementos según su función dentro del edificio. La junta alcanzará entonces un alto grado de especialización y complejidad.

Acero, vidrio y hormigón pasarán a ser los materiales esenciales, introduciéndose progresivamente otros nuevos materiales artificiales que provocaron la desmultiplicación de las tensiones incidentes en la unión [40], llegando en el extremo de sus posibilidades a la sustitución completa del mecanismo por la materia

40
Enrique Seco. *La unión en arquitectura*. Tectónica, 1998; no.7: 4-20.



2.3.6
Evolución de la junta.
Elaboración de la autora a partir de distintas fuentes.

Evolución de la junta.
De arriba a abajo: colocación de bloques en templo griego, despiece arco gótico, puente Bollman 1869, Parsons House 1970 (P. Bell and Partners), Estadio Olímpico de Múnich 1972 (G. Behnisch, F. Otto).

2. 4. PRECISIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Preciso

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

…

3. adj. Dicho de un instrumento de medida: Que permite medir magnitudes con un error mínimo. Este instrumento es muy preciso: mide milésimas de milímetro.

4. adj. Dicho de una cosa: Realizada de forma certera.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *praecīsus* 'cortado', 'conciso'.

Este participio significa bien cortado y delimitado, conciso y sucinto, exacto, pues es el participio del verbo *praecidere* (cortar por delante o por los extremos, separar bien cortando, acortar y suprimir tajando todo lo que sobra).

.....
Stephen Kieran, James Timberlake. *Refabricating Architecture. How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. Ed. Mc Grahan Hill. Nueva York. 2004.

"La nueva arquitectura no tendrá que ver con cuestiones de estilo, pero si con la substancia, con los métodos y procesos precisos que subyacen en el hacer."

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo II. p. 467.

.

"En general la noción de precisión se contrapone a la vaguedad. Un símbolo vago, una expresión vaga o una proposición vaga son respectivamente un símbolo, una expresión o una proposición que no están suficiente o adecuadamente "separados" de otros. Un símbolo, una expresión o una proposición precisos son un símbolo, una expresión o una proposición que están suficiente o adecuadamente "separados" de otros."

.....
Ramón Araujo, Enrique Seco. *La industria en la Arquitectura*. En: Eduardo Pérez Arroyo et al. *Industria y Arquitectura*. Ediciones Pronaos. Madrid. 1991. p.71.
.

"Sí que, en su asociación a la máquina y por motivos de optimizar la producción, esta idea de reunión de elementos, se complementa con la idea de montaje: Construir es montar productos industriales. El montaje es el único procedimiento constructivo posible. Se fabrica en la industria, en la obra se monta.

Montar es:

Emplear técnicas mecánicas en la unión de elementos.
Un proceso constructivo reversible.
Introducir el cálculo y la tolerancia a todas las escalas: precisión.
Medir la construcción en número de operaciones y horas.
Dar entrada a los medios más poderosos.
La integración incorpora la técnica de la reparación y la sustitución."

"Architecture requires control, Deep control, not merely of an idea, but also of the stuff we use to give form to the idea".

. . . . . .
Stephen Kieran, James Timberlake. *Refabricating Architecture. How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. Ed. Mc Grahan Hill. Nueva York. 2004. p. 29.

"Un archivo de música digital se puede copiar infinitas veces sin que pierda calidad de audio. En el futuro, la impresión en 3D extenderá esta precisión digital al mundo de los objetos físicos. La tecnología de digitalización y la impresión 3D darán lugar a un intercambio de formas entre los mundos físico y digital. Escanearemos, editaremos y duplicaremos objetos físicos para crear réplicas exactas o para mejorar el original."

. . . . . .
Hod Lipson y Melba Kurman, *Los diez principios de la impresión en 3D*, en *La revolución de la impresión 3D*. Madrid: Anaya, 2014.

2.4. PRECISIÓN

.....

El panorama actual ha generado entre los arquitectos una inquietud por la búsqueda urgente de soluciones sostenibles y su incorporación al proceso constructivo. El empleo de sistemas que permitan su desmontaje se ha establecido como una de las principales opciones, al dar por válidas una serie de consideraciones como son la mayor rapidez, calidad y control en los procesos de construcción y deconstrucción de los sistemas, la facilidad de recuperación de piezas en sistemas de junta seca, el aligeramiento de componentes o el ahorro inmediato de energía debido al reciclaje y reutilización de elementos.

Actualmente valoramos cada vez más la certeza y la fiabilidad en las construcciones, lo que conlleva un mayor control de calidad y una mayor precisión. Priorizar el trabajo en taller y convertir la obra en el lugar de montaje de los elementos mediante procedimientos en seco tiene la gran ventaja de que la mayor parte del control en cuanto a características de los materiales, dimensiones, conformado geométrico o uniones, puede realizarse en taller con mayor precisión. El control en obra se limita al control del montaje de elementos mediante procedimientos testados, como el apriete de tornillería, y al de los acabados de los elementos.

En ese sentido, las estructuras con los nudos más solicitados realizados en taller, con sistemas robotizados y comprobados con las técnicas más fiables, y posteriormente montadas en obra por sistemas atornillados o de macla geométrica de gran precisión, resultan mucho más fiables. En el caso de estructuras metálicas es evidente que resulta mucho más sencillo comprobar en obra el par de apriete de un tornillo que la calidad de una soldadura realizada "in situ".

Plantear procedimientos de unión sencillos en obra permite que, con el diseño adecuado, el montaje de todos los elementos pueda ser reversible. El desmontaje se podrá hacer en dos fases: en la obra y en el taller, lo que dará como resultado un mayor control del flujo de materiales.

A lo largo de la historia, la evolución tecnológica de las herramientas permitió incrementar la precisión en la conformación de las piezas que formarían parte de la construcción, afinando al mismo tiempo el ajuste de sus ensamblajes.

La aparición de las primeras técnicas de hierro, que provocarían la sustitución de la piedra en la conformación de las herramientas, y la importación de técnicas constructivas de otras zonas del mundo, contribuirían a mejorar el sistema de ajuste de los distintos utensilios y con ello la precisión en la conformación de las piezas.

Antes de la aparición de las máquinas el artesano tendría una importancia fundamental en esta búsqueda de la exactitud y de la precisión. Ejemplo de ello es el concienzudo y minucioso trabajo del carpintero japonés y la atención en la ejecución de detalles que afronta desde la pieza al conjunto (y no desde el conjunto a la pieza), y que dan lugar a la más clara expresión de su individualidad y maestría.

Así, el trabajo del carpintero tradicional es a menudo el trabajo preciso de un montador llevado al milímetro. Su hábil y refinada técnica se muestra en el encaje perfecto de todas las piezas, que une con atención mediante cuidadosos golpes con bloques de madera auxiliares para alcanzar las medidas finales exactas.

La especializada mano de obra requerida para abordar este tipo de tareas ha impedido la expansión de los sistemas

tradicionales de construcción en épocas recientes, como pueden ser las estructuras de madera con uniones de carpintería. Sin embargo, la introducción de la fabricación mediante control numérico ha permitido que estas construcciones con madera se encuentren hoy en pleno auge y que su ejecución se realice con una precisión y una economía importantes.

Actualmente, las técnicas de conformación disponibles, que añaden a los sistemas tradicionales mejorados las nuevas técnicas de conformación de piezas mediante sistemas digitalizados de moldeo, soldadura robotizada, corte por láser y/o plasma, impresión 3D etc. con un altísimo control de calidad en los procesos de fabricación y montaje, representan el presente y el futuro inmediato en la industria de la construcción.

2.4.1. PRECISIÓN EN LA ANTIGÜEDAD

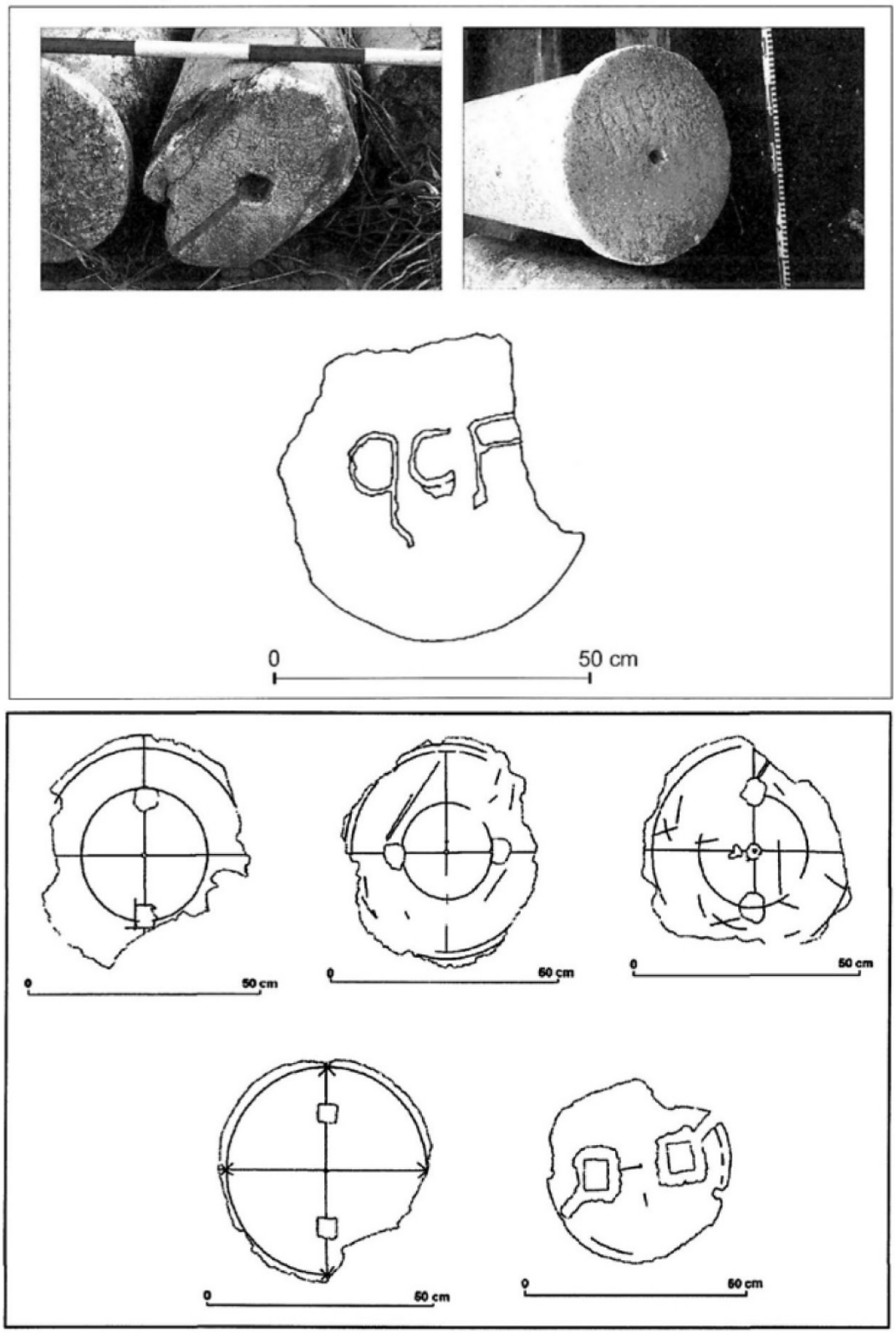
.....

Para asegurar la unión perfecta y duradera entre los diferentes elementos de las construcciones del Imperio Romano se utilizaron grapas, metálicas o de madera, con varias formas (doble cola de milano, rectas, en forma de doble T, y en pi).

Para garantizar las uniones también se emplearon espigas metálicas, fundamentales en los empalmes verticales. Primero se insertaba una espiga metálica en la pieza superior en la que ya se había realizado un orificio, después ésta se introducía en la cavidad correspondiente de la pieza inferior en la que se había vertido metal fundido. Habitualmente se realizaban canales que comunicaban los distintos orificios con el exterior para poder evacuar el metal líquido sobrante.

Sobre los bloques de piedra también aparecerían distintas incisiones asociadas al posicionamiento de cada pieza dentro del conjunto.

Todas estas marcas las podemos encontrar entre los restos de las piezas del Teatro de Itálica.



2.4.1
Fustes de teatro romano de Itálica. Oliva Rodríguez Gutierrez. Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos. CuPAUAM 24, 1997, pp. 222, 239.

Marcas de elevación y de disposición de distintas piezas encontradas en teatro de Itálica. Las letras y/o signos incisos pueden responder a diversas fases de la elaboración de las piezas: de cantera, de almacenaje, indicador de posición en el edificio, etc

2.4.2. PRECISIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

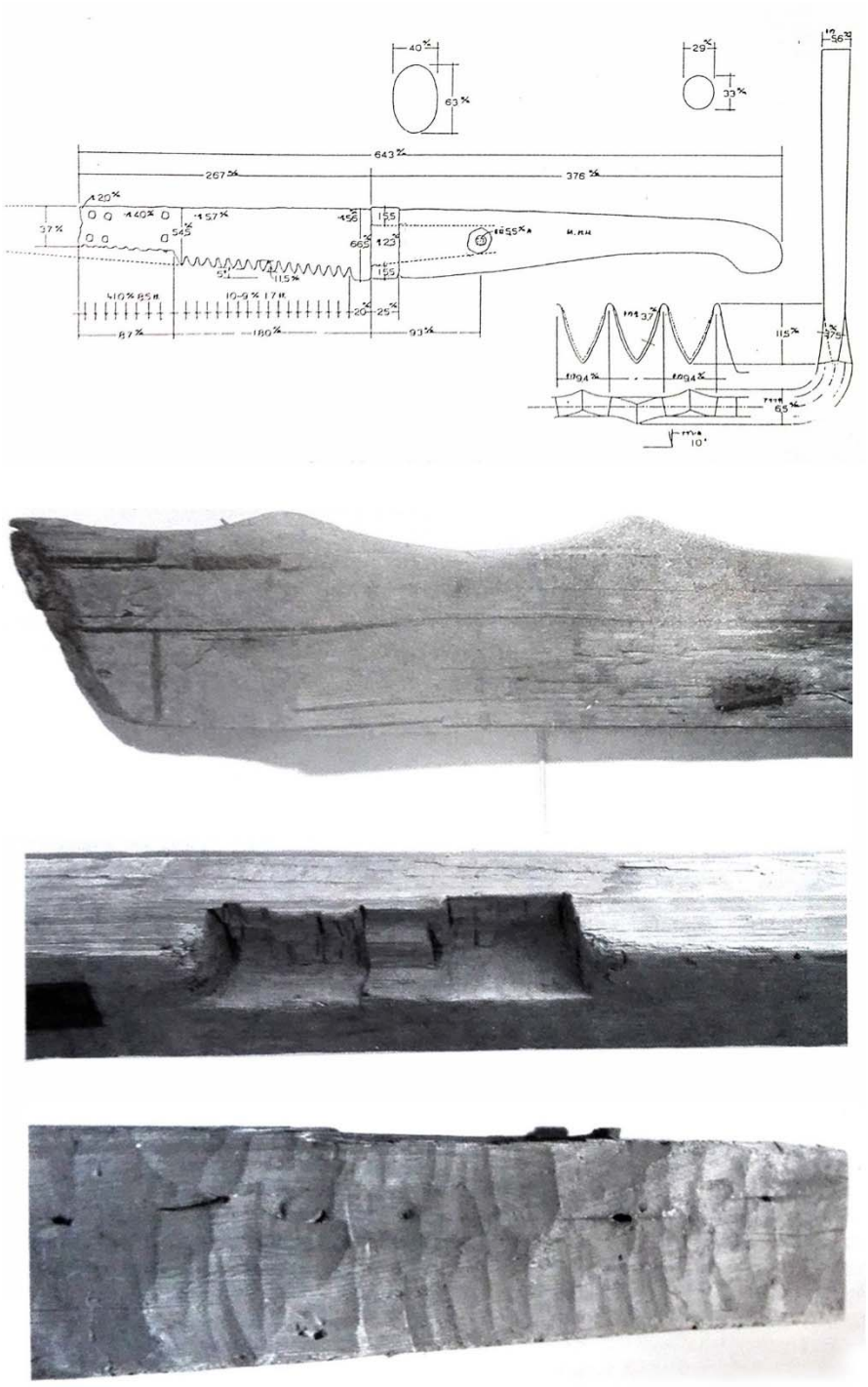
.....

Centrándonos en la construcción de la arquitectura japonesa con madera, la introducción de las técnicas de hierro en Japón desde el continente asiático durante el periodo Yayoi (300 a.C.-250 d.C.) dió como resultado la sustitución de las herramientas de piedra en la construcción de los primeros refugios. Esto redujo el tiempo necesario para la tala de árboles e incrementó la precisión en el conformado de las piezas de madera.

Posteriormente, la evolución de la kanna y la introducción del nokogiri, sierra japonesa de filo dentado, al inicio del periodo Kamakura (1185-1336) dieron lugar a un desarrollo espectacular de las técnicas de carpintería y a un cambio en la manera de construir japonesa al permitir al carpintero trabajar con excelente exactitud y precisión.

Durante el periodo Edo (1600-1868) aparecieron una mayor variedad de instrumentos, incluyendo algunos especializados como los diseñados para la realización de agujeros o el alisado de superficies curvas. Para la realización del dintel ranurado de las puertas correderas de aquella época pasó a utilizarse una pequeña sierra de dientes curvos, más apta para iniciar el corte sobre superficies planas, para cortar los laterales de la guía. Después un pequeño cincel se introducía para vaciar la ranura, y posteriormente un cincel con forma de paleta era empleado para alisar el fondo.

Las herramientas habían evolucionado para responder de manera óptima a cada función en este proceso. Nuevos materiales y técnicas constructivas procedentes de Occidente fueron también importadas durante este periodo. Una de las que más influencia tuvo fue el tornillo, introducido en Japón al mismo tiempo que las armas de fuego, que contribuyó a mejorar el sistema de ajuste de las distintas herramientas del carpintero.



2.4.2
Marcas de herramientas en piezas de madera y sierra japonesa. William H. Coaldrake. *The Way of the Carpenter. Tools and Japanese Architecture.* New York: Wetatherhill Inc, 1990. pp. 108-109.

La imagen superior consiste en un detalle de una sierra del siglo VII empleada para el corte de las piezas del templo de Horyu-ji. La imagen inferior refleja las marcas de cinceles y azuelas en tres piezas originales (una viga del alero, un tirante de la cubierta y una clavija de un soporte) del Templo de Horyu-ji en Nara.
William H. Coaldrake nació en Japón y se formó en la Universidad Nacional de Australia y en la Universidad de Harvard, donde obtuvo un doctorado en Historia de la Arquitectura Japonesa y donde posteriormente enseñó distintos cursos sobre arte y arquitectura de Japón. Es el primer no-japonés en ser aceptado como miembro del Gremio de Maestros Constructores Tradicionales de Kioto. Desde 2011 es profesor en la Universidad de Tokio.

2.4.3. PRECISIÓN DEL ARTESANO

.....

Hasta que el maestro carpintero japonés no se acostumbra a las cualidades de una nueva cuchilla en su herramienta y a trabajar con ella en su mano, ésta no se considera completada. Hasta entonces no podrá llegar a la precisión deseada.

La importancia de estos filos llega hasta tal punto que, antes de trabajar la madera, la primera tarea que realiza un carpintero aprendiz al llegar al taller es el afilado de las cuchillas de las herramientas de su maestro. En el caso de las garlopas, para conseguir un buen resultado, éstas deben afilarse como máximo cada diez pasadas.

Este trabajo repetitivo del aprendiz requiere de sensibilidad y concentración para encontrar la presión de afilado adecuada, estableciendo el primer nexo de unión con las herramientas en sí mismas antes que con las obras que con ellas se realizan.

Hoy en día pocas cuestiones escapan del modelo global, que atrapa también a la disciplina del carpintero. Sin embargo, el artesano japonés aún conserva una preocupación cuidadosa por los pormenores, y afronta el trabajo a otro ritmo, a otra velocidad alejada de la frenética realidad derivada de lo global y del mass-media. La atención a las pequeñas cosas sigue siendo una parte invisible de su tradición, plasmada en lo que crea y en lo que fabrica, que se encuentra integrado de manera discreta en la ciudad contemporánea.



2.4.3
Material *Tamahagane*
Fuente: www.dictum.com

El *tamahagane* es un tipo de acero tradicional japonés comúnmente utilizado en la fabricación de espadas de alta calidad, en particular la *katana*. Una de las propiedades únicas del acero Tamahagane es su gran pureza. A diferencia de otros tipos de acero, el Tamahagane no contiene aleaciones añadidas ni impurezas. Esta pureza lo hace especialmente adecuado para fabricar espadas, ya que permite al espadero controlar con precisión las propiedades del acero y garantizar que la hoja resultante sea de la máxima calidad. Este acero se emplea también en la fabricación de las cuchillas de los carpinteros.

2.4.4. PRECISIÓN DEL MATERIAL

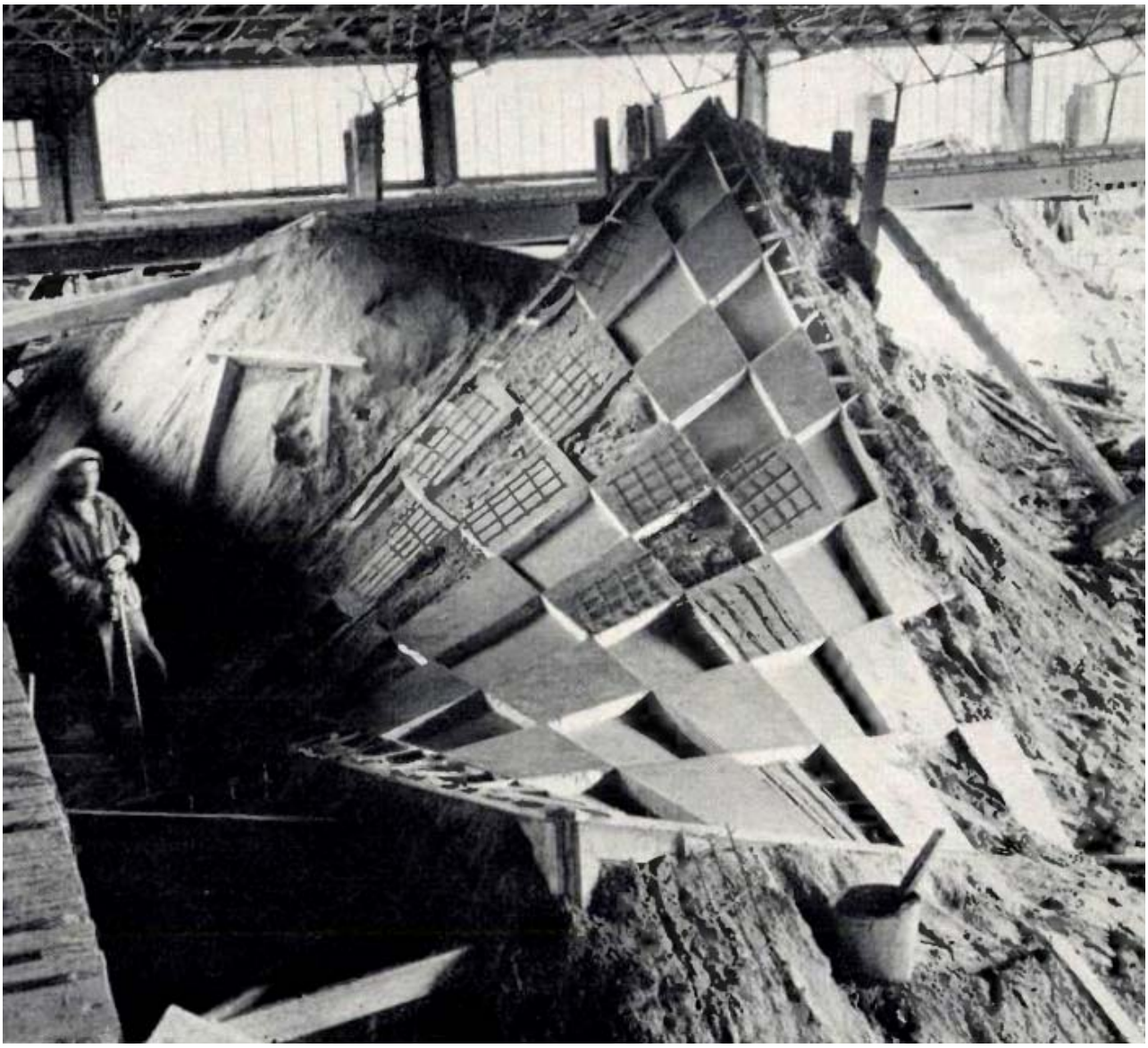
.....

Por sorprendente que parezca, Le Corbusier llegaría a definir el hormigón armado como un material preciso, y eso que en sus obras no se buscaba una especial rigurosidad en la ejecución.

Le Corbusier presenta esta idea basándose en el hecho de que el hormigón es capaz de calcar las superficies de los encofrados con una perfección absoluta. Se refiere a la exactitud del material dónde otros encontrarían solo imperfección.

Pere Fuertes explica esta aparente contradicción: el encofrado es el que aporta una total precisión, el resultado es exactamente una copia invertida del molde donde se coloca el hormigón, y en él se puede identificar el mínimo desperfecto, los anclajes, las huellas de las fibras de la madera, es decir, todo aquello que no entraría en la idea de perfección.

En relación a esta precisión, Le Corbusier compararía este material con el bronce vertido en un molde. La exactitud se encuentra en la cualidad especular del material respecto a su molde, perfecto o imperfecto, que en última instancia revela la acción de aquél que lo ha creado.



2.4.4
Encofrado de arena para el Pabellón Philips. 1958. Frank Huijben. *Vacuumatic formwork: a novel granular manufacturing technique for producing topology-optimised structures in concrete.* Granular Matter 2016. p.18.

Encofrado de arena utilizado para los paneles pretensados del Pabellón Philips diseñado por Le Corbusier para la Exposición Universal de Bruselas en 1958. En lugar de realizar numerosas modificaciones a un encofrado rígido de madera, un obrero habilidoso fue capaz de ajustar fácilmente la pendiente de una montaña de arena para conseguir la forma de paraboloide hiperbólico deseada.

2.4.5. PRECISIÓN INDUSTRIAL

> "Mis casas son muy simples porque creo que la industrialización sólo puede hacerse con el mínimo de piezas. Si hay demasiadas piezas, no funciona. Los pernos son un accesorio a eliminar. Cuando en una casa hay cinco mil pernos, hay que ajustar los cinco mil. Lods se equivocaba por completo. Se dio cuenta y dio marcha atrás. Tuvo sus problemas" [41].

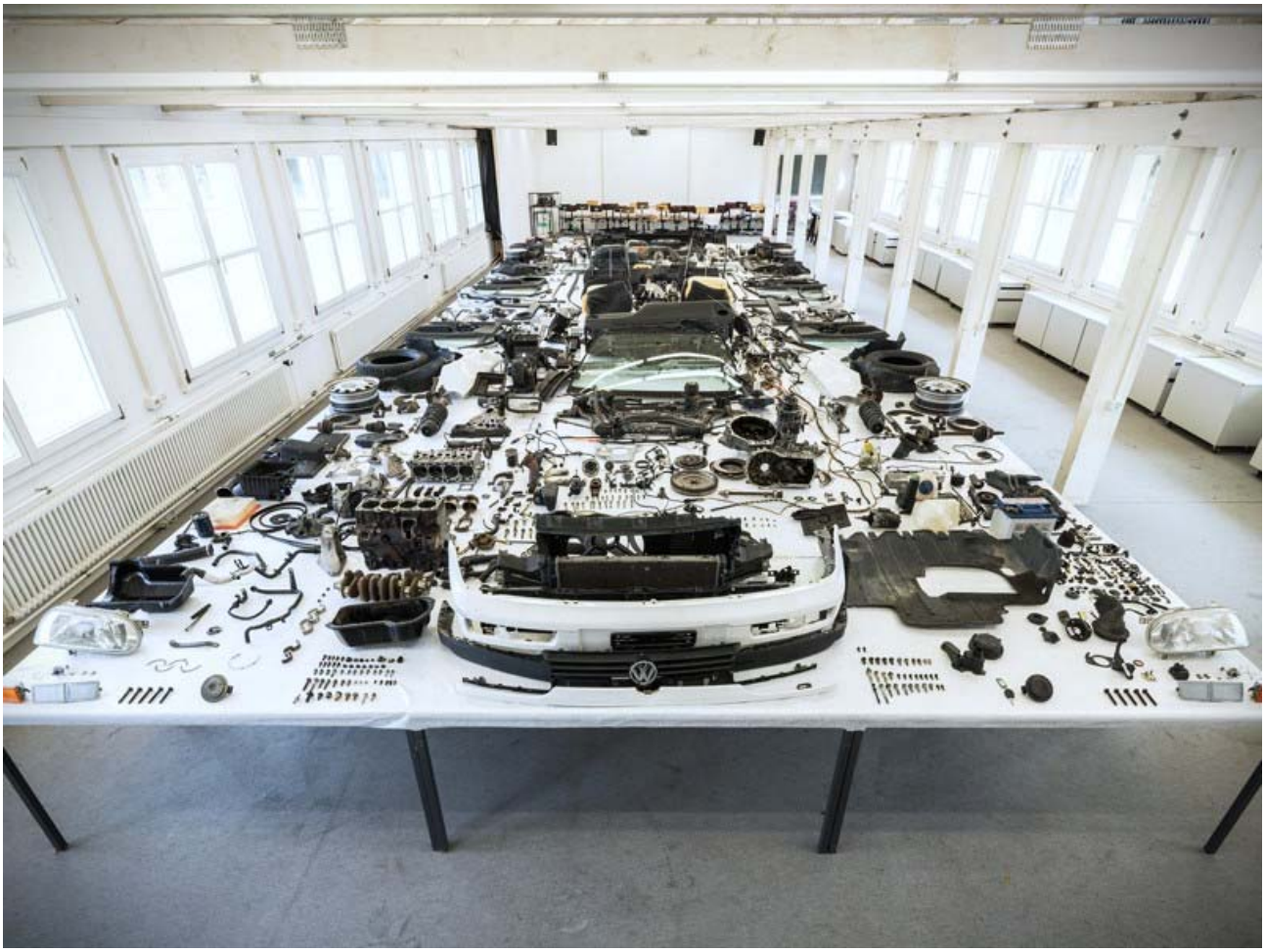
Así mostraba Jean Prouvé su distancia respecto a las propuestas de Marcel Lods, señalando la dificultad del control de la ejecución de las uniones de sus propuestas. La geometría frente al tornillo. Y en ambos casos los sistemas de unión en seco resultarían determinantes.

41
Armelle Lavalou. *Conversaciones con Jean Prouvé.* Editorial Gustavo Gili. 2005 P. 46

Por un lado, estarían aquellas propuestas que recurren a la geometría con uniones inteligentes que necesitan un mínimo de piezas auxiliares como tornillos, pasadores o bulones. Son las que encontramos en la carpintería tradicional, en aquellas basadas en la estereotomía de las piezas o en el concepto de unión de las propuestas de Prouvé.

Por otro lado, existen aquellas propuestas que recurren a geometrías muy sencillas a base de placas de testa o anillos con elementos de unión de cosido como tornillos, remaches o bulones. Esta segunda opción es la que encontramos en los nudos metálicos atornillados, en la construcción naval remachada o en las propuestas de Lods.

Si bien es cierto que la primera opción puede parecer más atractiva, contiene mayores limitaciones a la hora de intercambiar piezas entre distintos sistemas.



2.4.5
Desmontaje de un Volkswagen Golf. D. Hebel, P. Chladek, A. Fibicher, F. Heisel, P. Jorisch, H. Rufer, M. H. Wisniewska, B*uilding for disassembly* - Design Studio Spring 2016 - Professorship Dirk E. Hebel - ETH Zürich.

Los días 23 y 24 de Febrero de 2016, un grupo de estudiantes de la universidad ETH Zürich desmontaron un Volkswagen Golf en todos sus elementos y los clasificaron sistemáticamente en grupos como ejercicio de la asignatura de "Construcción para el desmontaje" impartida por el profesor Dirk Hebel.

2. 5. CONSTRUCCIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Construir

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. tr. Hacer de nueva planta una obra de arquitectura o ingeniería, un monumento o en general cualquier obra pública.

2. tr. Hacer algo utilizando los elementos adecuados.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *Construĕre* 'fabricar', 'edificar'.

El prefijo *con-* 'unión', 'todo', 'junto'. El verbo *struere* 'juntar', 'amontonar'.

.....
¿Que es componer? Reunir, ensamblar, unir las partes de un todo. Julien Gaudet citado en: Sigfried Giedion. *Espacio, Tiempo y Arquitectura*. Editorial Científico-Médica. Barcelona. 1961. 3ªEdición. p.34

"La composición reside en la manera de reunir (elementos de la composición) y los dos conceptos forman una filosofía del diseño que fue común a académicos y modernos por igual. Se trata de un enfoque particular: los elementos estructurales y funcionales pequeños (elementos de la arquitectura) se combinan para obtener volúmenes funcionales, y éstos (elementos de la composición) se reúnen para hacer edificios enteros. Llevar a cabo esta operación es componer en el sentido literal y etimológico del término: poner juntos."

.....
Henry Ford citado por Bender. Richar Bender. *Una visión de la construcción industrializada*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona 1976).

"El concepto producción en serie se utiliza para describir el método por el cual se fabrican grandes cantidades de un solo artículo estandarizado. La producción en serie no es simplemente producción en cantidad ni producción mecánica. La producción en serie es la aplicación de los principios de potencia, precisión, economía, método, continuidad y velocidad a un proceso de fabricación."

.....
Stephen Kieran, James Timberlake. *Refabricating Architecture. How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. Ed. Mc Grahan Hill. Nueva York. 2004.

"La producción se convierte en parte del proceso de diseño al trabajar con montadores desde el principio; los diseñadores reflejan como las cosas son realizadas, su secuencia de ensamblaje, y los sistemas de unión".

"La industrialización esta principalmente relacionada con los procesos, pero esto no significa al fin una meta en sí misma.

La industrialización inherentemente persigue una producción optimizada de un producto existente, de este modo está relacionada más con la innovación de los procesos que con la innovación de los productos."

. . . . . .
Anne Beim, Jasper Nielsen, Kasper Sánchez Vibaek. *Three Ways Of Assembling A House*. CINARK Centre for Industrialized Architecture. Ed Rikke-Julie Schaumburg-Müller. School of Architecture Publishers. Dinamarca. 2010.

"Un hombre y un muchacho pueden ahora (1865) obtener con facilidad los mismos resultados que veinte hombres conseguían con una estructura anticuada.

Sin los clavos fabricados a máquina, la nueva estructura hubiera resultado un disparate. Solamente cuando la fabricación mecánica facilitó los clavos baratos, cortó los calvos de acero y de hierro, y los de alambre pudieron obtenerse de calidad excelente y a un coste muy inferior, aquel sistema relativamente caro de estructura ensamblada fue sustituido por un sistema más económico que se basaba únicamente en la eficiencia de los clavos.

Con la mecanización, la mano de obra necesaria para la construcción disminuyó grandemente, y las praderas del oeste aparecían ahora sembradas de casas que, acabadas ya y con las diferentes piezas numeradas eran enviadas a su destino.

Si no hubiese sido por la construcción tipo 'balloon', Chicago y San Francisco no hubieran podido pasar -como lo hicieron, y en un año- de pequeñas poblaciones a grandes ciudades."

. . . . . .
Sigfried Giedion. *Espacio, Tiempo y Arquitectura* citado en Ramón Araujo. *Casas en serie*. Tesis Doctoral. Director: Salvador Pérez Arroyo. Universidad Politécnica de Madrid 1992 p.288.

"Una impresora 3D puede imprimir bajo demanda, siempre que un objeto haga falta. La capacidad de fabricación sobre la marcha, reduce la necesidad que tienen las empresas de hacer acopio de inventario físico. Esto hace posible nuevos tipos de servicios empresariales, dado que las impresoras 3D permiten a las empresas crear objetos especializados (o personalizados) a la carta, en respuesta a las peticiones de los clientes. Este "tiempo de fabricación cero" podría minimizar el coste de los envíos a larga distancia, si los artículos a imprimir se generan cuando hacen falta y cerca de donde hacen falta."

. . . . . .
Hod Lipson y Melba Kurman, *Los diez principios de la impresión en 3D*, en *La revolución de la impresión 3D*. Madrid: Anaya, 2014.

2.5. CONSTRUCCIÓN

.....

La idea de la construcción como ensamblaje de partes para obtener un todo coherente no es una idea nueva introducida por los procesos industriales. Este principio forma parte del hacer arquitectónico desde las primeras civilizaciones.

Lo que sí traerá el proceso industrial es la idea de montaje. Ramón Araujo y Enrique Seco nos acotan su significado: en el montaje se emplearán técnicas mecánicas para ensamblar, se introducirán conceptos como el cálculo y la tolerancia, y la construcción se podrá medir en cantidad de operaciones y número de horas. Además, el montaje implicará la reversibilidad del proceso constructivo e incorporará la reparación y la sustitución de elementos.

La industrialización está más relacionada con la mejora de los procesos que con la creciente calidad de los productos. El objeto construido como producto industrial deberá incorporar desde la organización del sistema de producción, el montaje y ensamblaje de elementos en componentes, hasta su traslado y montaje en el emplazamiento definitivo. De este modo, la producción pasa a formar parte del proceso de creación, el creador incluirá en su diseño desde el principio la ejecución de los procesos, la secuencia de ensamblaje y los sistemas de unión.

Como ya anunció Adam Smith en su libro "La riqueza de las naciones", podemos considerar que la principal causa de la revolución industrial no fue la invención de la máquina de vapor por Watt, sino la organización del trabajo. La combinación de la división del trabajo y la máquina de vapor provocó que la fabricación de bienes de consumo se multiplicara de manera asombrosa, aumentando la velocidad y

reduciendo los costes, haciendo llegar bienes de mayor calidad a cada vez más personas.

Los arquitectos también intentaron acercarse a este ideal productivo. La evolución de la técnica marcha al ritmo de la industria. Y en la industria no cabe la excepción ni la improvisación. En ella la superación técnica es la clave para la supervivencia del objeto, y se desarrolla un sistema selectivo basado en la competencia por el progreso.

En este sentido, muchas de las construcciones tradicionales se crearon bajo estos principios. Se diseñaron potenciando su funcionalidad, aplicando la mejor solución disponible e introduciendo las mejoras tecnológicas del momento. Y se conservaron los modelos empleando las soluciones de manera repetitiva.

Estas construcciones tradicionales podrían atender hoy a una seriación integral y levantarse cada una de ellas en sus restauraciones con piezas estandarizadas producidas en serie, convirtiéndose en un sistema integral ensamblado por componentes obtenidos en las fábricas.

La superación de la arquitectura tradicional traería consigo un escenario diferente, y a pesar de existir considerables ejemplos de arquitecturas obtenidas bajo un procedimiento industrial en los inicios de la modernidad, creadas de manera muy similar a como se fabricaría un tren o un coche, es evidente que la arquitectura no llegó a asumir de manera permanente y estable los principios de la industrialización.

Aún hoy los arquitectos somos creadores de un único producto, y no llegamos a incluir la repetición y la sistematización de los procesos como parte de nuestros procesos de diseño. No nos hemos apropiado del procedimiento industrial. Nos quedamos únicamente en la

creación del prototipo inicial, que en la industria es ideado únicamente para testar y corregir productos que posteriormente serán sometidos a una seriación integral.

La industria, por su parte, ha vuelto a dar un paso más, y las posibilidades actuales de la fabricación digital abren la posibilidad de realizar piezas variadas superando los condicionantes anteriores de estandarización. Hoy se abren paso los procesos de versión y variación.[42]

42
Lluis Ortega (Ed.). *La digitalización toma el mando*, Compendios de Arquitectura Contemporánea, Editorial Gustavo Gili, Barcelona 2009

2.5.1. CONSTRUCCIÓN EN LA ANTIGÜEDAD

.....

En las piezas de las construcciones que se conservan del Imperio Romano se han encontrado distintas oquedades que están asociadas al ensamblaje y unión de las piezas entre sí en su posición definitiva en el edificio. Estos huecos en ocasiones también pudieron ser útiles para el transporte y la elevación.

La oquedad para castañuela se encontraba en el centro de gravedad del bloque y su sección era de paredes inclinadas. La castañuela estaba formada por tres piezas metálicas que al unirse adoptaban forma de cola de milano. Su empleo permitía elevar pesos importantes y la ventaja de su empleo es que la marca quedaba oculta una vez colocada la pieza.

Las cavidades para ferrei forfices eran simétricas y se situaban en las paredes verticales de la pieza. Con este instrumento metálico, cuyos garfios se aseguraban en las citadas cavidades, se elevaban las piezas. Aunque eficaz, la abertura máxima de las tenazas limitaba la posibilidad de manipulación de las piezas.

Para garantizar las uniones de las distintas piezas de la construcción se emplearon grapas, pernos y espigas.

Las piezas habitualmente también presentaban letras o signos marcados en su superficie que podían responder a un indicador de su posición en la construcción.



2.5.1
Basa del orden inferior de la *scaenae frons* del teatro romano de Itálica. Oliva Rodríguez Gutierrez. Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos. CuPAUAM 24, 1997, p. 232

Orificio para castañuela en una basa del teatro de Itálica. La castañuela es un artilugio de hierro cuya función era el agarre de los bloques de piedra para elevarlos y colocarlos en su lugar de destino dentro de la obra. Estaba formada por tres piezas de hierro, una central y dos laterales en forma de cuña. Las tres piezas estaban unidas por un pasador y formaban una especie de cola de milano. Al bloque de piedra se le hacía una caja interna en la cara en la que se va alojar la castañuela. Se introducían las dos piezas laterales y luego la central, se unían con el pasador y ya estaba listo para ser elevado con la grúa. El hueco o caja donde se alojaba la castañuela solía estar en la cara superior con lo que las caras laterales de las piedras no presentaban ninguna marca.

2.5.2. CONSTRUCCIÓN ARTESANAL

.....

La madera llega al templo de Seirin-ji, en Tokio, parcialmente conformada y cortada en secciones de distinta longitud.

Tras colocar las piezas de madera unas junto a otras aproximando sus bordes, une firmemente las partes como si hubieran crecido juntas mediante cuidadosos golpes con bloques de madera. Las piezas también pueden ser separadas fácilmente siguiendo el mismo proceso.

El carpintero hace posible lo imposible, alterando con elegancia todas las nociones constructivas razonables. Largas vigas son encajadas sobre pequeños montantes para la construcción de los vuelos a través de un universo de juntas. Y lo hace de manera sencilla y fascinante.

Una consecuencia natural de esta depurada técnica fue que todas las partes del edificio se estandarizaron en grado sumo, de manera que las longitudes y secciones de todas las piezas de maderas de las construcciones japonesas han llegado a tener sus medidas fijas y proporcionadas. Pero, a pesar de esto, el trabajo de construcción no puede realizarse de manera mecánica.

Al igual que el plegador que elabora los tatamis para una nueva habitación los realiza de manera tan exacta al tamaño del espacio disponible que es imposible incluso introducir una lámina de papel en la junta, así el carpintero realiza los mayores esfuerzos para hacer que todo encaje perfectamente. De este modo la estandarización japonesa podría implicar a una producción en serie en sentido moderno; sin embargo, no mecaniza la construcción ni elimina la artesanía. Los tatamis, el producto estandarizado de Japón por excelencia, están hechos completamente a mano.



2.5.2
Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Octubre 2015. Fotografía de la autora.

Al encontrarme con el carpintero Fujino-san, éste me muestra cómo se encuentra ensamblando en estos momentos la estructura superior de la primera cubierta de la pagoda. El montaje de cada pieza es cuidado al detalle.

2.5.3. CONTRUCCIÓN E INTERCAMBIABILIDAD

.....

En 1908 Henry Ford presenta en el mercado el modelo Ford T. Se trataba de un vehículo para el ciudadano medio americano, un vehículo "para las masas". Ford pretendía que todo el mundo lo pudiera conducir y mantener, y que todo el mundo lo pudiera comprar, y para ello se vio obligado a cambiar drásticamente el modelo de producción.

Hasta ese momento la fabricación de automóviles se realizaba a mano [43], en un proceso artesanal que requería mucho dinero y mucho tiempo.

Desde los primeros vehículos a vapor como la máquina de Verbiest o el Fardier de Nicolas-Joseph Cugnot, hasta los primeros automóviles con motor de combustión interna como el atribuído a Karl Friedrich Benz en 1886, los primeros vehículos de la historia de la automoción fueron considerados como artículos de lujo, cuyos acabados interiores, forma de la carrocería e incluso la posición del volante podían ser personalizados a gusto del cliente.

En aquella época, aún resultaba técnicamente inviable fabricar dos automóviles exactamente iguales ya que no se disponía de medios adecuados que proporcionaran la precisión necesaria para la conformación de piezas idénticas. El equipo de fabricantes lo formaban herreros, fundidores y chapistas, y aunque las piezas se realizaban con moldes, los procesos posteriores de templado y endurecimiento alteraban sus dimensiones, con lo que el ajuste final de cada pieza al resto requería un gran esfuerzo. Además, los pequeños talleres se veían limitados en cuanto a tiempo e inversión para poder desarrollar nuevas tecnologías que les facilitaran los procedimientos.

Henry Ford identificaría la imprecisión de los procesos como una de las principales dificultades a superar, y se centraría en la mejora de la productividad de cada elemento para reducir costes y tiempo de producción, a la vez que se mejoraba la calidad del producto. Para ello incorporaría al sistema de producción de sus vehículos varios avances existentes. Uno de ellos sería el Principio de Intercambiabilidad: cualquier pieza de un Ford T podía ser empleada en otro Ford T.

El Principio de Intercambiabilidad se refiere a la posibilidad de sustituir una pieza por otra igual que haya seguido el mismo criterio de fabricación, respetando el tipo de ajuste y la tolerancia necesaria para su uso. Este principio ya se empleaba en la industria relojera y en la fabricación de armamento. Las piezas se fabricaban independientemente del fusil o reloj en el que fueran a montarse.

Aplicado a la fabricación de automóviles, la apropiación del principio exigía una mejora en la precisión de la conformación de las piezas, lo que se consiguió a través del avance técnico de los sistemas de endurecimiento de los metales y de la incorporación de un estricto sistema de calibrado. Además de producir piezas que

43
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.19.



2.5.3.a
Citroën Ami.
Fuente: www.citroen.es

La carrocería del Citroën Ami muestra una aplicación radical del concepto de intercambiabilidad: el frontal y la parte trasera son idénticas, así como las puertas, haciendo que la puerta derecha se abra de forma tradicional mientras que la izquierda lo hace en sentido contrario al tráfico.

podían encajar en cualquier vehículo también se pudieron obtener al mismo tiempo piezas de repuesto para el mantenimiento de los automóviles. Gracias a estos avances se acortaron los tiempos de fabricación, sin incrementarse los costes por encima de los beneficios obtenidos.



2.5.3.b **Imagen superior del Citroën Ami donde se muestra la intercambiabilidad de las puertas.**
Citroën Ami.
Fuente: www.citroen.es

2.5.4. CONSTRUCCIÓN EN CADENA

.....

Al principio los vehículos se montaban en la fábrica de Ford en puestos fijos a los que los operarios acudían para ir ensamblando las distintas piezas. Ford identificó una fracción importante de tiempo inútil o malgastado en esos desplazamientos, en los que a veces incluso un mecánico tenía que esperar hasta que terminara el operario anterior para poder realizar su trabajo.

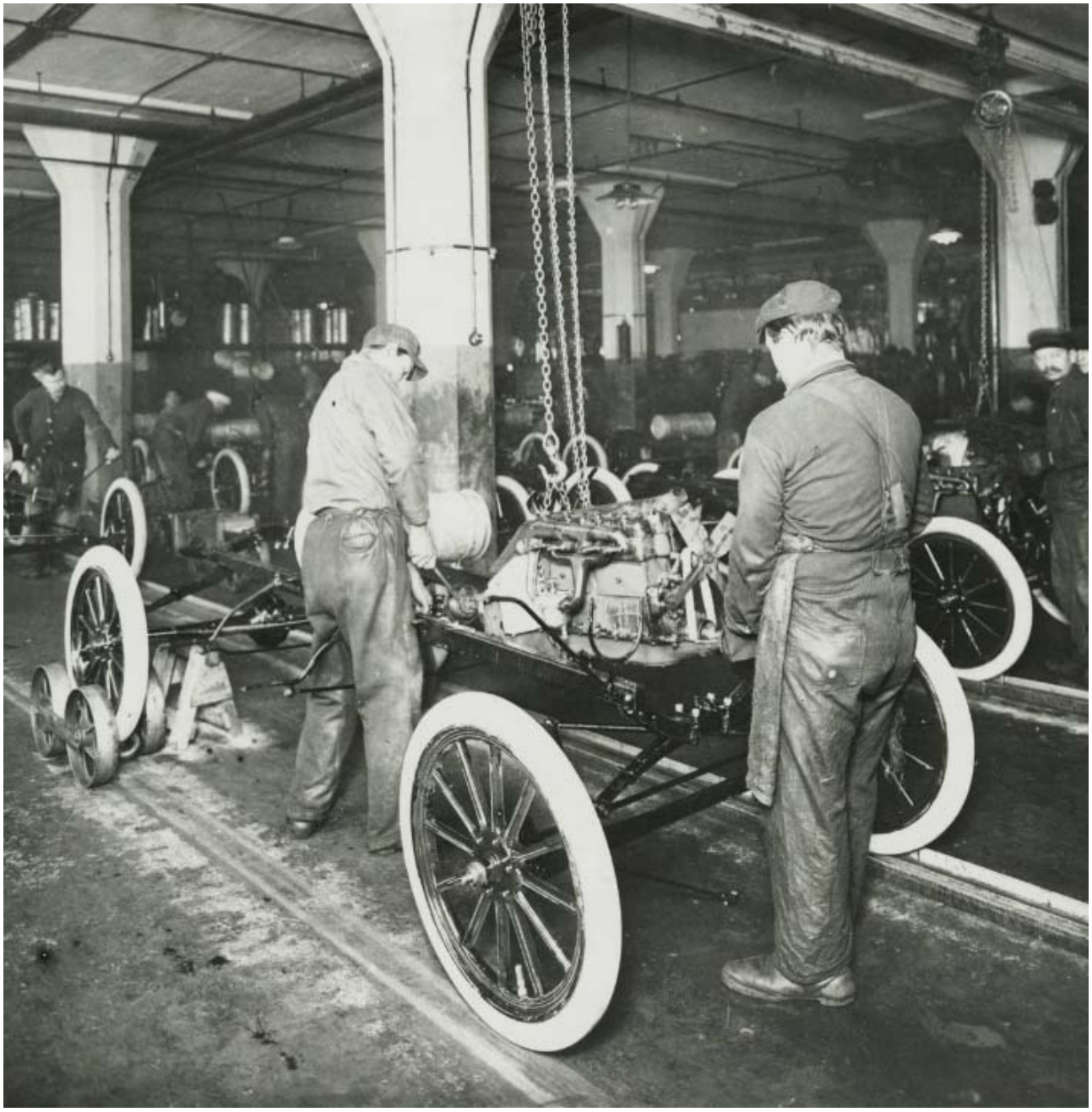
Para implementar la línea de montaje en la fabricación de sus automóviles Henry Ford se inspiró en el proceso de despiece de la carne en los mataderos [44]. La idea surgió al visitar el matadero Swift & Company en Chicago. Ford observó cómo los animales muertos eran colgados y desmantelados en una línea de desmontaje para obtener todas sus partes, y fue entonces cuando se le ocurrió aplicar este concepto en la producción del Model T. No solamente adoptaría la técnica del matadero, si no que la perfeccionaría introduciendo el movimiento.

¿Y si el automóvil se moviera hasta el mecánico en vez de que fuera el mecánico el que se acercara hasta cada automóvil? Así surgirá la cadena de montaje. Dos cintas deslizantes propulsadas por un motor eléctrico llevarían los coches hasta cada operario.

Esta adaptación permitió que cada automóvil fuera desplazado por la línea de montaje y ensamblado paso a paso. El trabajo que antes llevaba horas y horas, ahora se podía hacer en 90 minutos.

En 1911, justo antes de la introducción de la cadena de montaje, las ventas totales del Modelo T sumaban 39.640 unidades. En 1927 se habían alcanzado los 15 millones.

44
Sigfried Giedion. *Espacio, Tiempo y Arquitectura*. Editorial científico-Médica. Barcelona. 1961. 3ªEdición. p.78.



2.5.4
Cadena de montaje. Henry Ford. 1913. Fuente: www.corporate.ford.com

Trabajadores instalando motores en la línea de montaje del Ford T en la planta de Highland Park, 1913.

2.5.5. CONSTRUCCIÓN Y ORGANIZACIÓN

.....

Adam Smith enunciaría en el primer capítulo de su libro "*La riqueza de las naciones*", escrito en 1776, el verdadero detonante de la primera Revolución Industrial: la división del trabajo.

> "Un hombre estira el alambre, otro lo endereza, un tercero lo corta, un cuarto lo afila, un quinto lo lima en un extremo para colocar la cabeza. Realizar la cabeza requiere dos o tres operaciones distintas, el colocarla es una tarea especial, y otra el esmaltar los alfileres; hasta empaquetarlos es por sí mismo un oficio; y así la producción de un alfiler se divide hasta en ocho operaciones diferentes. […]
>
> Este gran incremento en la labor que un mismo número de personas puede realizar como consecuencia de la división del trabajo se debe a tres circunstancias diferentes; primero, al aumento en la destreza de todo trabajador individual; segundo, al ahorro del tiempo que normalmente se pierde al pasar de un tipo de tarea a otro; y tercero, a la invención de gran número de máquinas que facilitan y abrevian la labor y permiten que un hombre haga el trabajo de muchos."

Apoyándose en lo enunciado por Smith, Frederic W. Taylor propondría en sus obras publicadas en 1903 y en 1911 la organización del trabajo en tareas sencillas que se podían realizar por un obrero no especializado con relativa facilidad [45]. Estas tareas se desarrollarían a partir del estudio de los elementos y de los instrumentos necesarios para llevar a cabo cada tarea y de los movimientos más eficaces para poder realizarla, identificando y eliminando las acciones innecesarias.

Para la fabricación de sus vehículos Henry Ford aplicaría los principios enunciados por Taylor, y dividiría la producción de su vehículo en 82 etapas. En cada una de ellas los obreros realizarían acciones sencillas y repetitivas con unas herramientas diseñadas de manera específica para cada tarea.

45
Frederic W. Taylor. *Shop Management* (1903), y *Principles of Scientific Management* (1911).



2.5.5
Los fabricantes de clavos. Le Cloutier Grossier. Aprox. 1763. Imagen: Jean-Michel Moreau 'le jeune' (1741-1814).

La división del trabajo es la fragmentación o descomposición de una actividad en tareas más elementales, así como su reparto entre diferentes personas, según su fuerza física, habilidad y conocimientos. Aunque desde la prehistoria fue consustancial a toda actividad humana, la división del trabajo se intensificó con la revolución neolítica que originó las sociedades agrarias y aceleró de modo extraordinario su contribución al cambio tecnológico y social con el desarrollo del capitalismo y la revolución industrial.

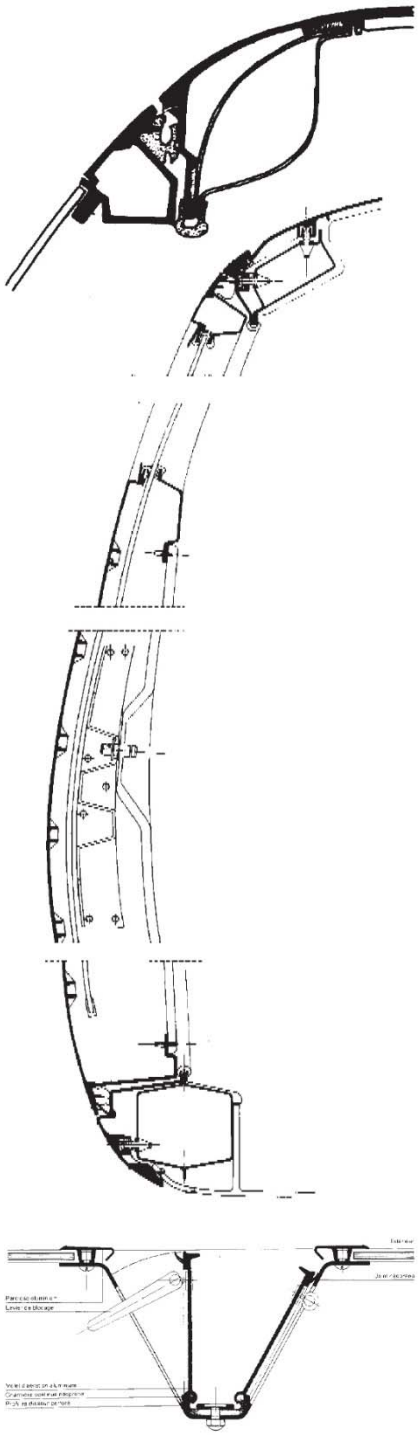
2.5.6. CONSTRUCCIÓN Y UNIDAD

.....

Creador, fabricante y constructor, Jean Prouvé desarrolla a lo largo de más de treinta años en su fábrica de Maxéville decenas de diseños que buscarán la industrialización completa del objeto construido como sistema íntegro para su producción en serie. Su taller tendrá un rendimiento excepcional: los obreros se convertirán en empresarios con un presupuesto inicial pactado al comenzar cada encargo. Al mismo tiempo, su factoría atraerá a numerosos estudiantes que descubrirán allí la "universidad del oficio": lo dibujado un día, al día siguiente se hacía realidad.

Prouvé trató de devolver a la arquitectura la unidad propia de la tradición a través de la industria. Desde los tiempos más antiguos la arquitectura siempre optó por repetir sus modelos y siempre ofreció la posibilidad de su estandarización, incluso antes de la mecanización de sus procesos. Se aplicó la mejor solución para cada tipo en relación con el entorno y con los medios disponibles, se repitió y se introdujeron las mejoras oportunas con la tecnología del momento. Solo hace unas cuantas décadas surgió un deseo de "variedad" que en muchos aspectos entorpeció el progreso. Ante esta "variedad", la industria sería capaz de ofrecer otra, esta vez real, consecuencia de la evolución técnica en la búsqueda de la solución óptima para cada modelo.

Hoy nuevos protocolos y máquinas permiten la "personalización" de la producción industrial, que presenta indudables ventajas en cuanto a la optimización en el uso de recursos, materiales y procesos. Será interesante ver cómo evoluciona la arquitectura en este nuevo contexto, y dónde queda esa razonable "unidad" que Prouvé nos proponía.



2.5.6
Arriba: detalles de uniones con neopreno en automóviles (Rice 1995). Abajo: estas uniones en edificios (Prouvé 1956).

Los procesos de fabricación derivados de la evolución de la era moderna comenzaron a tener mayor importancia, ya que cada vez era mayor el número de elementos prefabricados, transportados y ensamblados en el emplazamiento final. Con el desarrollo de las técnicas de prefabricación, las posibilidades de unidades de construcción intercambiables se hicieron realidad. La introducción del neopreno, importado de la industria del automóvil por Sariner, resolvió el problema de la conexión entre componentes independientes, como el vidrio, los paneles de hormigón, o las piezas de plástico conformado.

2.5.7. CONSTRUCCIÓN SIN DESPERDICIOS

.....

A mediados del siglo XX Sakichi Toyoda, su hijo Kiichiro, y el ingeniero Taiichi Ohno desarrollaron el Sistema de Producción Toyota.

Este sistema está basado en los principios de Jidoka, o automatización con intervención humana, y Just-in-Time, o producción de lo estrictamente necesario, en el momento justo y en la cantidad indispensable, minimizando así los stocks. Cuando se empleaba una cierta cantidad de piezas del inventario se reponía sólo el inventario que había sido empleado.

Jidoka es la capacidad que tienen las líneas de producción de detenerse cuando se detecta algún problema como puede ser el funcionamiento incorrecto de los equipos, el retraso en el desarrollo del trabajo, o alguna cuestión de calidad. Esto puede ser detectado tanto por las mismas máquinas como por los propios trabajadores.

El principio Just-in-time, por su parte, se basa en el sistema PULL (solicitar las piezas que se necesitan, cuando se necesitan y en la cantidad exacta necesaria), en el flujo continuo (eliminación de los problemas que detienen las líneas de producción) y en el Takt Time o tiempo que se debería emplear para producir un componente, garantizando así la velocidad constante y sincronizada de las líneas de producción.

Para ejecutar el Just-in–Time se emplea una tarjeta de control que registra la información sobre el proveedor, la pieza que provee y el lugar donde se encuentra dentro de la fábrica. Sirve para abastecer en el momento justo la cantidad necesaria de piezas para las unidades que están en producción.

A los principios Jidoka y Just-in-Time se les añade el concepto "*Muda*",o supresión de los "gastos" o los "desperdicios", que podrían ser originados por defectos, exceso de producción, transporte, tiempo de espera, cuestiones de inventario, o procesos innecesarios. Todo ello llevará a lo que hoy se conoce como Lean Manufacturing, "producción limpia" o "producción sin desperdicios". Eliminando los "desperdicios" o el "despilfarro" se mejora la calidad del producto y se reducen el tiempo de producción y el coste.

Gracias a este sistema de producción, Toyota superaría a los fabricantes estadounidenses en la fabricación de automóviles, dato relevante si tenemos en cuenta el precario contexto en el que encontraba Japón tras la Segunda Guerra Mundial.



2.5.7
Telar Automático Toyoda Modelo G. Saichi Toyoda. Fotografía: Christoph Roser at AllAboutLean.com

La empresa Toyota empezó fabricando telares, por lo que el concepto de Jidoka se aplicó primero en la innovación de estas máquinas. Toyoda se planteó mejorar dos situaciones: logró que la máquina se parase inmediatamente si el hilo de la trama se rompía introduciendo unas pequeñas piezas metálicas (imagen de la Toyota G), así como que se pudiera cambiar el carrete del hilo de forma automática sin tener que parar.

2. 6. DIVISIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

Dividir

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Del lat. *dividĕre*.

1. tr. Partir o separar algo en partes.

2. tr. Distribuir o repartir algo entre varios.

[...]

.....
Jesper Nielsen. *Mass Customization And The Production System*. En: *Three Ways of Assembling a House*. Royal Danish Academy 2010. p.35 y siguientes.

"Un producto de arquitectura modular es cuando el producto es dividido en trozos individuales debido a producción, límites de transporte, cadena de proveedores o adaptabilidad al usuario."

.....
Gilbert Herbert. *The Dream Of The Factory Made House*. MIT press Cambridge Massachusetts. 1984. p.7.

"Un sistema prefabricado comprende una serie de componentes organizados jerárquicamente, con cada componente como un elemento definido en sí mismo y como parte de una entidad más exhaustiva. Esta entidad, el edificio prefabricado, era un todo compuesto de partes cuya relación entre ellas y con el todo era gobernada por leyes definidas de combinación y cuyo significado derivaba del todo."

.....
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005. p.152.

""The Rouge" fue presentada como una maravilla de la ingeniería de fabricación y de escala, y como un emblema de la industria moderna. Durante la Gran Depresión, la factoría incluso se hizo cargo del tratamiento de los coches usados. Se montó una "línea de desensamblado" cuyos trabajadores extraían de cada coche el radiador, los cristales, los neumáticos, la tapicería, a medida que se iba desplazando por la cadena, hasta que la carrocería y el chasis eran arrojados a una enorme prensa. Hay que admitir que el proceso era primitivo y se basaba en la fuerza bruta más que en el diseño sofisticado, pero era una llamativa ilustración de que "basura=alimento" y un paso pionero hacia la reutilización de los materiales industriales."

.....
Christoph. Henrichsen. *Restauration of the Fudo-do on Koyasan.* 1995-1998. p. 103.

"To make sure that the parts are securely connected, the same nail hole is not generally reused when the parts are reassembled. Therefore it is usually possible to tell from the number of nail holes how often a building has been dismantled since it was first built".

"La técnica de selección y yuxtaposición de los Eames, o escoger y disponer."

. . . . . .
Alison Smithson, Peter Smithson. *Cambiando el arte de habitar. Piezas de Mies. Sueños de los Eames. Los Smithsons*. Gustavo Gili. Barcelona. 2001. p.72.

"Si los ingenieros de aeronáutica tuvieran el mismo espíritu para hacer aviones que los arquitectos para hacer sus obras, los aviones no volarían."

. . . . . .
Alejandro de la Sota. Transcripción de una charla en el instituto Torroja de Madrid, incluida en un ciclo titulado "*Muros cortina*" marzo de 1963. En: Moises Puente (Ed.). (2002:158).
.

2.6. DIVISIÓN

.....

Al introducir la idea de montaje en el proceso constructivo, el concepto de reversibilidad y la incorporación de la técnica de la reparación y la sustitución surgen de manera consustancial.

Además de la división lógica y metafísica, es necesario distinguir la división física. La división evidencia la existencia de un ser compuesto que encuentra solución en sus elementos simples. Las reglas de la división responderán a normas lógicas según las cuales se relacionan los miembros divididos entre sí y con el todo [46].

46
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo I. Pág. 478.

La estrategia de diseño de las arquitecturas desmontables requiere de la definición de la división funcional del edificio a través de la especificación de aquellas partes que serán fijas y de aquellas otras que podrán ser reemplazadas en el mismo. Y esa definición deberá de realizarse desde las primeras fases de diseño.

Cada elemento del objeto construido tendrá un ciclo de vida funcional, asociado a su uso, y un ciclo de vida técnico, determinado por las características de los materiales que lo componen, y ambos deberán ser tenidos en cuenta a la hora de diseñar los distintos componentes. Se deberá definir una estructura jerárquica abierta evitando las relaciones funcionales y de ensamblaje entre distintos grupos funcionales. La principal ventaja de las estructuras desmontables residirá en la reutilización de las partes cuyo ciclo de vida de uso funcional sea más corto que su ciclo de vida técnico o material.

El empleo de componentes industrializados, que conllevan un proceso de montaje más fácil y rápido en obra, ha

incrementado históricamente el potencial de desmontaje de las construcciones. Así los sistemas que emplean este tipo de componentes pueden ser desmontados en dos fases: en la obra y en el taller, dando como resultado un mayor control de la circulación de materiales.

La ligereza y la facilidad de manipulación de los elementos también son factores determinantes que favorecerán la posibilidad del desmantelamiento ordenado de las estructuras. Aunque ya hemos visto que existen construcciones levantadas en los primeros tiempos de nuestra historia que fueron realizadas con materiales pesados y que han podido ser desmontadas.

El diseño de las uniones entre las partes desmontables e intercambiables deberá de contemplar la posibilidad de realización de múltiples desmontajes y reutilizaciones e incluir elementos de base e intermedios capaces de soportar estas operaciones. Para ello el empleo del número mínimo de anclajes y de geometrías de conexión será fundamental, así como proporcionar las tolerancias adecuadas que permitan el desmontaje de cada uno de los elementos individuales.

El montaje en paralelo se presentará como primera opción frente al montaje secuencial, para permitir posteriormente la división en partes individuales sin interferir con otras partes del edificio, acelerando así el proceso de deconstrucción. En este sentido, los conjuntos deberán ser ensamblados desde el principio con un orden sistemático que permita su desmantelamiento.

Los nuevos procesos de fabricación digital que manejamos hoy permiten integrar el desmontaje y la reciclabilidad de los edificios en el proceso de diseño. Además de las propiedades de los materiales y componentes empleados, sus condiciones de fabricación y suministro, su traslado y puesta en obra, y su

mantenimiento, el desmantelamiento de las distintas partes la de construcción ya puede formar parte del proceso constructivo desde las primeras fases de diseño.

Si bien, la posibilidad de desmontaje se ha utilizado ampliamente hoy en día en el diseño de dispositivos electrónicos y de bienes de consumo, aún no se ha generalizado en la construcción de edificios. Teniendo en cuenta el impacto ambiental de las construcciones, uno de los principales indicadores de la calidad de un edificio en el futuro podría referirse a su potencial de desmontaje. Este potencial permitiría a los usuarios adaptar los edificios a sus necesidades durante su vida útil reduciendo los costes de inversión adicionales, además de favorecer la recuperación de materiales y sistemas y su devolución a la cadena de producción.

2.6.1. DIVISIÓN EN PIEDRA

.....

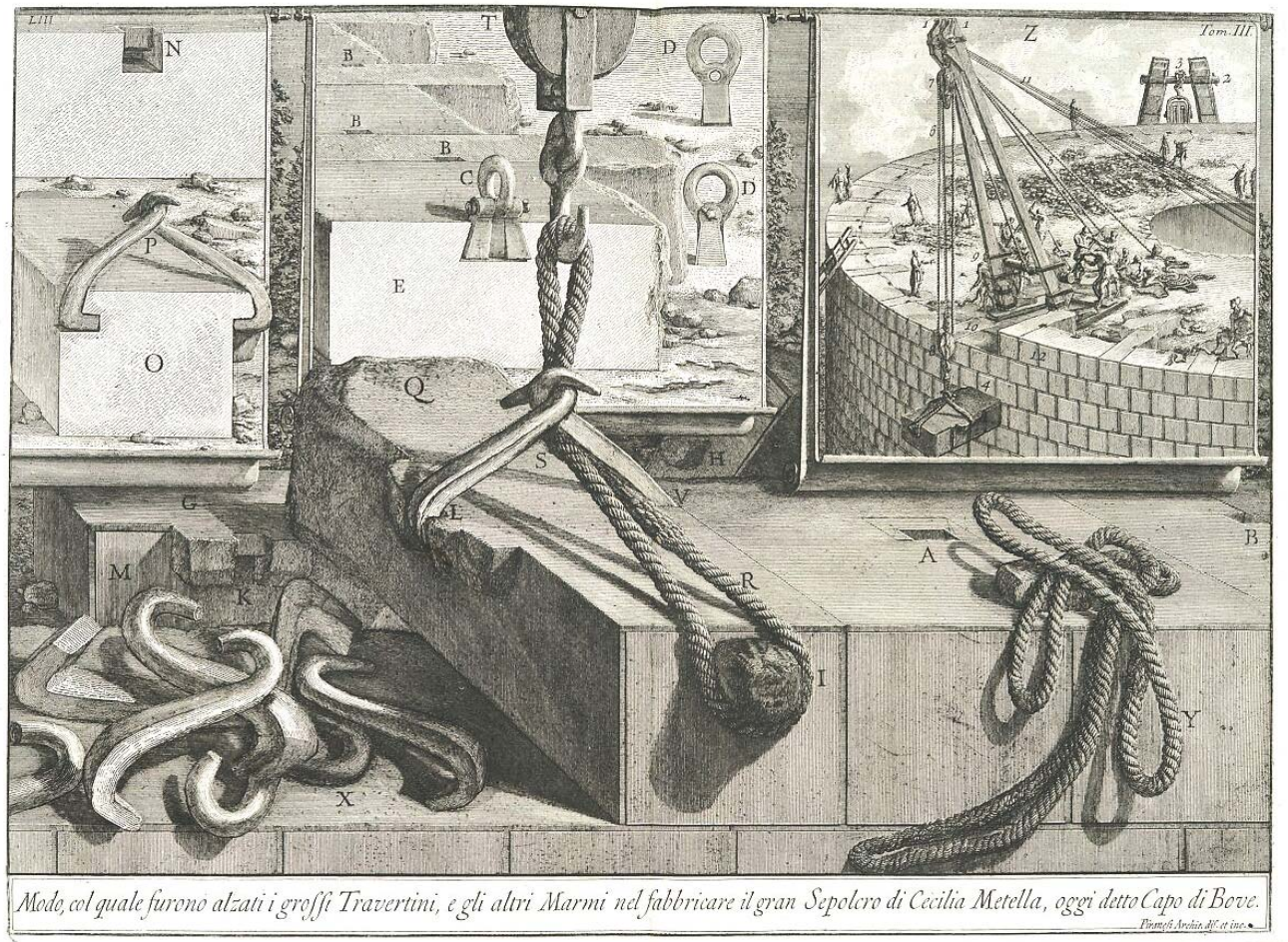
La cultura de los primeros pueblos tenía muy presente el concepto de reutilización y mostraba un acercamiento ciertamente "constructivo" a los procesos de demolición. En numerosas ocasiones la destrucción de un determinado edificio no era asumida como la completa eliminación del mismo, si no como la reconfiguración de la realidad material de esa arquitectura cuyas partes podrían disponerse en nuevas configuraciones.

Así, el ciclo de vida de los materiales y elementos de una construcción abandonada que estuviera siendo desmantelada no terminaba ahí, si no que los materiales eran extraídos del ciclo de exclusión para convertirse en bienes de otros ciclos de producción. La destrucción de unos edificios generaba otros.

Se desconoce a quién correspondía realizar las labores de deconstrucción en aquellas épocas, pero seguramente se tratará de una labor similar a la del constructor, que requería de cierta destreza, al menos en la organización. A lo largo de la Edad Media aparecen los *effossores lapidum*, operarios encargados de recuperar los bloques de piedra para venderlos en fragmentos para la obtención de cal, también encontramos a los *cavatori*, responsables de reparar los bloques desenterrados. Distintos trabajadores gestionarían los bloques de piedra desmontados, ofreciéndoles una segunda oportunidad.

Encontramos en varios textos medievales lo que hoy podríamos llamar 'almacenamiento y venta de materiales de segunda mano'. En 1345, tras la destrucción de las casas donde se levantaría el Palacio Papal de Avignon, los constructores pidieron a los operarios encargados de la demolición separar los materiales que podían ser reutilizados. En una primera selección se guardaron los materiales que pudieran ser útiles para la propia obra. Posteriormente, el resto de elementos fueron clasificados por tipo: piedras, tejas, piezas de madera o metal, y almacenados para proceder a su exposición y venta.

No existe mucha información acerca de los medios empleados en las obras de deconstrucción medieval. El desmontaje de las distintas partes de las construcciones se realizaba con suma atención, empleando polipastos, grúas y otros medios de elevación, ayudados por cuerdas y cadenas para controlar las cargas. Los materiales recuperados eran trasladados en carretillas, carros, o polipastos de funcionamiento horizontal o vertical, al lugar de la nueva construcción. Una vez acopiados los materiales recuperados, éstos eran limpiados de cualquier residuo que hubiera quedado en la superficie. Esta labor la realizaban las mujeres.



Modo, col quale furono alzati i grossi Travertini, e gli altri Marmi nel fabbricare il gran Sepolcro di Cecilia Metella, oggi detto Capo di Bove.

Visitando io tutto giorno i Monumenti antichi di Roma, ed investigando ogni loro benche minuta parte, scoprii in que' grossi macigni, de' quali sono costruiti, dei buchi quadrati sfavasati a bella posta in alcuni d'essi nel mezzo del piano di sopra, come A; in altri nel lato e dietro, singolare, come B. Quanto all'uso favorito nel mezzo del piano di sopra, essa manifesta, che servirva per allentare il sasso fin dove ovvero aperto in opera mediante uno Stromento di ferro C, (ovvero ancora fuori Pezzi) D, chiamato da Vitr. Forfice, da altri Ulcella, introdotto ad incastrato nel buco stesso, come nello Spaccato E; quale Stromento in oggi pure si mette in pratica. Ma qual uso potesse avere l'altro buco favato nel lato, a cui non vedesi corrispondere altro buco nel lato opposto, ove aggrappar si potesse il macigno per sollevarlo, rigirarlo, ed situarlo, io stesso fino a quest'ora da me non penetrato. Dalle rovine del Sepolcro di Cecilia Metella, detto Capo di bove, mi venner sotto gli occhi alcuni Frammenti di grossi Travertini, F, G, i quali mi fecero forse ciò che per sì lungo tempo da che mi trovo in Roma non mi venne fatto di comprendere. Il Frammento V ha un risalto a guisa di Bozza nella stessa pietra lasciato ad arte sporgere. H, a simile ad I. Il Frammento G ha una bozza, e un buco favato in mezzo alla stessa, marcato K, e simile ad L; il qual buco è fondo fino alla superficie del Lato M, e corrisponde direttamente al buco del Lato opposto N. Ecco finalmente, che questi due Travertini non sono stati posti in opera, o perlomeno in que' cosi, ond'è formata la superficie esteriore del Mausoleo: e così può essere accaduto, e per naturale difetto della Pietra, scoperto dopo lavorata, o per mancanza delle Scarpellino in fatti l'uno d'essi appare spezzato da un capo. Per tanto, siccome è possibile, ecco brevemente l'uso de predetti Buchi, e delle Bozze. Osserviamo nello Spaccato O la spezzatura, e profondità de Buchi, e tutto ciò con ciò sono introdotti in essi gli Uncini P; i quali equilibrando il Macigno Q per mezzo della Fune R, congiunta a cappio, raccomandata alla Bozza I, indi passata sotto gli Uncini, e ripassata ancora sotto se medesima in S, qualora il peso della parte della bozza lo stringesse a troppo forte, sì potrà il cappio alto scorrere, mentre sia in pronto il detto Macigno per esser tirato

2.6.2. DIVISIÓN DEL CARPINTERO

.....

En el ámbito de la casa tradicional japonesa, existe una práctica que se da en la actualidad y que consiste en el traslado por iniciativa particular de estas viviendas desde los lugares donde fueron construidas por primera vez hace varios cientos de años a otras localizaciones para convertirlas en nuevas residencias.

El proceso de traslado y reconstrucción implica el desmontaje por piezas de la casa, alejándose así del modelo americano empleado para el movimiento de viviendas, en el que secciones completas, o incluso la totalidad del edificio, construidas con sistemas ligeros tipo balloon-frame, son trasladadas en una sola vez sobre enormes vehículos.

Tras una exhaustiva toma de datos del estado original, el desmontaje de una casa tradicional japonesa sigue un proceso inverso al de su construcción. La primavera es la época ideal para iniciar estas labores.

El proceso comienza con la retirada de la paja de la cubierta, que se amontona y se quema sobre la nieve que ha quedado del invierno. Poco a poco todas las capas de la construcción se van descubriendo hasta llegar a los pilares y vigas de la planta principal, que son desmontados y alineados en el suelo. Las escuadrías de madera y los troncos curvos de la estructura, al igual que las varas de bambú de la base de cubierta y los enlistonados del techo, son entonces trasladados y almacenados en una nave para su posterior reutilización. Las particiones móviles de madera también se conservan, aunque la posibilidad de su uso depende de la distribución interior de la vivienda en su nueva localización.

En estas naves es fundamental disponer de una adecuada ventilación para el correcto mantenimiento de la madera. Allí pueden llegar a almacenarse varias casas desmontadas. Antes de su reconstrucción, las piezas dañadas de la estructura son restauradas utilizando escuadrías antiguas del mismo tipo. En ocasiones, maderas procedentes de otras casas desmanteladas que no han sido reutilizadas se emplean en este proceso, y son unidas a las maderas originales mediante juntas de caja y espiga. Posteriormente todas las piezas se enlazan junto al taller de reparación para comprobar que la estructura de la casa encaja perfectamente. Esta estructura será desmontada de nuevo para trasladarla a su emplazamiento final, donde su levantamiento definitivo empleará a cuatro o cinco artesanos con cierta experiencia en este tipo de construcciones, y tendrá una duración de unos diez meses.

Las juntas de madera empleadas en estas construcciones, que no incluyen ni clavos ni adhesivos, permiten que estas casas puedan ser montadas y desmontadas una y



2.6.2.a
Piezas desmontadas de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Octubre 2015. Fotografía de la autora.

Las antiguas piezas que formaron parte de la pagoda y que habían sido desmontadas por el maestro carpintero Fujino-san, estaban ordenadas y colocadas alrededor de la nueva pagoda para proceder a su reutilización en otra construcción.

otra vez hasta que las uniones ceden y se aflojan.

A pesar de que los elementos principales de la estructura deben ser mantenidos en su posición original, muros y pilares secundarios pueden ser movidos o eliminados dando lugar a un sistema abierto altamente flexible y adaptable a los nuevos usos y funciones. Una nueva configuración, adaptada al entorno y a las circunstancias del nuevo emplazamiento, es absolutamente posible. En tales casos, el aspecto exterior de la casa, así como la disposición de las habitaciones en el interior, también cambian.



2.6.2.b
Piezas desmontadas de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Octubre 2015. Fotografía de la autora.

Las antiguas piezas que formaron parte de la pagoda, y que habían sido desmontadas por el maestro carpintero Fujino-san, estaban ordenadas y colocadas alrededor de la nueva pagoda para proceder a su reutilización en otra construcción.

2.6.3. DIVISIÓN POR MANTENIMIENTO

.....

En el mundo de la ingeniería aeronáutica se conoce como “La gran parada” a la revisión, cada diez años, en la que se somete al avión a un proceso de desmontaje por piezas.

El objetivo es revisar meticulosamente todos y cada uno de los elementos y componentes que conforman la estructura de un avión y cumplir con las exigencias requeridas para la confirmación del buen estado de todos los aparatos y sistemas.

El cuidado y la atención con el que se realiza este mantenimiento es tal que incluso se llega a realizar un decapado y reposición total de la pintura exterior.

De este modo, cada vez que un avión despega después de pasar esta revisión lo hace con cero horas de vuelo, es decir, como recién salido de fábrica.

Si estos mismos criterios se transfirieran a las técnicas arquitectónicas se introducirían, además del inminente ahorro de recursos, diversas mejoras de forma inmediata como la desvinculación de nuestras construcciones del lugar (sería posible volver a montar pero en otro emplazamiento), facilitarían la obligación de mantenimiento de los propietarios, pero sobre todo la posibilidad de introducción de mejoras inmediatas parciales en las instalaciones, con aparatos más eficientes que los anteriores (en cinco años el mercado evoluciona y ofrece importantes mejoras en los sistemas instalados).



2.6.3
La gran parada. Visita a los hangares de mantenimiento de aeronaves en Iberia. 03/09/2013. Fotografía de la autora.

En “la gran parada” el avión está en el hangar de mantenimiento al menos un mes. Tras retirar toda la estructura del tren delantero y del tren principal, los asientos y demás espacios interiores del fuselaje, la moqueta del suelo, los paneles laterales alrededor de las ventanas y hasta los compartimentos superiores, se realiza una minuciosa revisión para detectar cuales son las piezas que deben de ser cambiadas. Cuando la revisión estructural se completa, los motores se han revisado y vueltos a montar, al igual que se hace con el tren de aterrizaje, se realizan pruebas informáticas y electrónicas, para certificar que todo funciona correctamente.

CAPÍTULO 3

•

EVOLUCIÓN Y FUTURO

3.1. APOYO SIMPLE

3.2. EMPUJE Y TRACCIÓN

3.3. JUNTA DE GOMA

3.4. POSTE Y DINTEL

3.5. ESQUELETO Y PARED

3.6. FABRICACIÓN DIGITAL

DEFINICIÓN · EVOLUCIÓN Y FUTURO

Evolucionar

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

De *evolución*.

1. intr. Dicho de un organismo o de otra cosa: Desenvolverse o desarrollarse, pasando de un estado a otro.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del latín *evolutio* del verbo *evolvere.* El prefijo *ex-*, hacia fuera, el verbo *volvere*, dar vueltas, el sufijo *–tio*, acción y efecto. Todo junto: acción y efecto de dar vueltas hacia afuera, apertura de lo que estaba enrollado, desenrollar.

Futuro

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

1. adj. Que está por venir y ha de suceder con el tiempo.

2. adj. Que todavía no es pero va a ser.

3. m. Tiempo que vendrá.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Del lat. *futūrus.* Participio de futuro perfecto del verbo *sum, esse* (ser, estar), 'lo que ha de ser'.

3. 1. APOYO SIMPLE

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Apoyar: (De apoyo) Etim. disc.; cf. it. appoggiare.

1. tr. Hacer que algo descanse sobre otra cosa.

2. tr. Basar, fundar.

[…]

7. intr. Cargar, estribar.

[…]

Simple: Del lat. simple, adv. de simplus.

1. adj. Constituido por un solo elemento, no compuesto.

2. adj. Sencillo, sin complicaciones ni dificultades.

.....
Frei Otto. *Alte Baumeister: was könnten die alten Baumeister erfunden haben?* IL 37. Krämer. Stuttgart, 1994.

"La historia de la arquitectura está bien documentada. Es una historia de formas construidas, estilos, técnicas, patrones y de sus maestros constructores o arquitectos. Las formas básicas de la arquitectura evolucionaron por medio de las invenciones e ideas estructurales. La historia del diseño estructural es una historia de ideas, inventos y modelos conceptuales que fueron necesarios para posibilitar el desarrollo […]. Tal historia, sin embargo, existe solo de una manera elemental. Estudiar la historia de la arquitectura significa llevar a cabo investigaciones, estudiar las fuentes, evaluar pruebas contradictorias y reflexionar de manera crítica. Significa, sobre todo, recoger evidencias, examinar edificios, leer libros y entender lo que otros han pensado y escrito sobre los hechos y acontecimientos históricos. Trabajar en una "Historia del diseño estructural" significa buscar en las estructuras históricas aquellas ideas que permitieron que estas estructuras pudieran realizarse. El punto de partida de un estudio de este tipo solo puede ser nuestra experiencia actual y el conocimiento en el diseño, desarrollo y evolución de las estructuras."32

.....
José Ferrater Mora. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1965. 5ª edición. Tomo II. p. 786.

"El examen del concepto de tiempo en la Edad Antigua debe, pues, llevarse a cabo teniendo presente la noción de eternidad. Se ha dicho con frecuencia que en la filosofía antigua (y también en la medieval) el concepto de tiempo ha sido relegado o, cuando menos, puesto entre paréntesis en favor del tema del ser. Ello es cierto en gran medida. Ernst von Dobschiitz ha puesto de relieve la diferencia entre el modo hebreo y el modo griego de pensar. El primero es fundamentalmente temporal; el

segundo, fundamentalmente intemporal. El primero destaca el "pasar"; el segundo, el "estar" (la "presencia"). Pero aun si, con Thorleif Boman, consideramos que la diferencia antedicha en manera alguna significa que los griegos carecieran de la noción de tiempo, parece que mientras los hebreos concebían el tiempo primariamente en función del futuro, los griegos lo concibieron primariamente en función de un presente."

"La geometría y las matemáticas se cultivaron bien pronto en Egipto (desde el periodo arcaico) para solucionar los problemas concretos que se presentaban cuando, después de la retirada del Nilo, se hace necesario redefinir los límites de las propiedades por razones catastrales y fiscales. Los egipcios usaban un sistema numérico decimal, conocían las fracciones y la raíz cuadrada y podían calcular la superficie de un círculo o el volumen de un cilindro."

. . . . . .

Rafael Agustí Torres. *Materiales y métodos de construcción en el Antiguo Egipto*. 2017

"The most conspicuous form of recycling practiced in ancient Egypt was the reuse of monumental stone building material. Re-employed elements included inscribed and un-inscribed architectural components."

. . . . . .

Gun Björkman. *Kings at Karnak: A study of the treatment of the monuments of royal predecessors in the early New Kingdom.* Uppsala: Uppsala University. 1971. Björkman demostró que el desmontaje de monumentos del antiguo Egipto no se realizaba con la intención de faltar al respeto.

"New Kingdom temples at Karnak were usually built with limestone blocks of c. 1x1x1 m. Though in Upper Egypt, from Luxor southwards, Nubian sandstone was used. Handling of these enormous blocks was time consuming as they were too big and too heavy to be carried by one man. However, Akhenaton used to build with smaller blocks of standardized dimensions. Their first appearance coincided with the emergence of new theological orientations. Pfeiffer thought Akhenaton to be twenty-one years old when he created the Aton temple at Karnak. Although many variants exist, Akhenaton's building blocks at Karnak generally have dimensions of c. 52x 26x20-24 cm. The introduction of a new type of building block with a 'standardized' format was an important technological change and served as an aid for the quick reforms under Akhenaton. […] Akhenaton's building blocks had the advantage that a construction worker could handle such a block of c. 50-60 kg in a relatively fast way."

. . . . . .

Arris H. Kramer. T*alatat shipping from Gebel el-silsileh to Karnak. A literature survey*. Journal: Bibliotheca Orientalis no.66 2009. p. 5-20

.

. . . . . .
J.J. Coulton. *Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design*. Cornell University Press. Ithaca, New York 1977. Preface.

"For without some such picture Greek architects are liable to appear schizophrenic – men who are not formally educated but nevertheless use the latest mathematical concepts in their elevations, men who in spite of a meticulous procedure of design are frequently forced to modify their building during construction, and so on. Certainly I believe that the architects deserve more prominence in the study of a Greek architecture, for it is essentially the human intelligence of the architect which makes the difference between a beautiful building and a beautiful rock form."

. . . . . .
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas.* Ed. Mc Graw Hill 2005, p.124.

"Irónicamente, los arquitectos profesionales parecen apañárselas sin comprender los principios básicos que inspiraron las antiguas tendencias en construcción y arquitectura."

. . . . . .
Eugène Viollet-le-Duc. *La construcción medieval*. Editado por E. Rabasa Díaz y S. Huerta Fernández. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, 1996. p. 7.

"Nadie admira más que nosotros la antigüedad, nadie hay más dispuesto a reconocer la superioridad de las hermosas épocas del arte griego y romano sobre el arte moderno; pero hemos nacido en el siglo XIX, y no podemos evitar que entre la antigüedad y nosotros medie un trabajo considerable […]. Lo mejor, pensamos, será buscar en el trabajo de aquella víspera lo que hay de útil hoy para nosotros, y reconocer si este trabajo preparó nuestra labor. Esto será más razonable que menospreciarlo."

3.1. APOYO SIMPLE

.....

La tesis se plantea como una investigación sobre las posibilidades de desmontaje de las arquitecturas permanentes, comenzando por aquellas construidas en las primeras épocas, extrayendo las estrategias aplicadas en ellas que permitan establecer unas bases completas del diseño desmontable actual y futuro.

Con la intención de ampliar el campo de búsqueda de referencias en torno a lo reversible, se hace necesario regresar a la arquitectura de los primeros tiempos, comenzando por aquella construida durante las primeras civilizaciones superiores.

Como primera referencia que ha llegado hasta nuestros días con la suficiente integridad se encuentra la arquitectura egipcia: imponente en sus grandes dimensiones, colosal en sus partes parciales, sólida al desafiar la serie de siglos transcurridos hasta nuestros días, ejerció una influencia determinante en el progreso y en la historia. Sus enormes columnas quedaban enlazadas por arquitrabes dispuestos bajo pesadas losas de piedra en una disposición sumamente racional.

Estas piezas se montarían mediante ingeniosos sistemas de plataformas de adobes, con la arena como material auxiliar para el posicionado de piezas [47]. La arquitectura egipcia introdujo los elementos principales que se enlazarían de manera repetida en los distintos estilos arquitectónicos que se sucederían a partir de entonces en cualquier rincón civilizado de la tierra.

Gran parte de la arquitectura de la antigüedad de gran escala, prácticamente toda la que fue construida en madera y en

47
Francisco Ortega Andrade. *La construcción en Egipto. Primera parte.* Revista de Edificación. RE • Nº 10 • Enero 1992. P.55-65.

piedra, es desmontable. Un templo egipcio tiene la posibilidad de ser desmontado, aunque por el tamaño de las piezas la operación sea de una gran complejidad. En España tenemos el ejemplo del pequeño templo de Debod, que fue desmontado en Egipto y trasladado a Madrid con todas sus piezas, donde se volvió a montar. Otras construcciones imponentes en madera, como las iglesias noruegas de pies derechos, son definitivamente desmontables, incluso su basamento de piedra ensamblado originalmente en seco.

La perfecta armonía en la relación entre los distintos componentes y la forma del objeto construido, resultado de su proceso de materialización y testimonio de su tectónica, se encuentra por primera vez en la arquitectura de la antigüedad clásica.

El periodo helenístico presenta, como indica Choisy [48], un arte maduro y, como tal "...maestro tanto de sus medios como de sus efectos", entendimiento entre forma y construcción. La búsqueda de la belleza se añadiría a la autoridad de lo racional en las construcciones griegas, en las que las piezas a ensamblar serían de menores dimensiones que las utilizadas por sus predecesores egipcios, por lo que se verían obligados a adaptar lo aprendido aplicando la tecnología del momento con riguroso criterio y delicada prudencia [49].

Tanto en las construcciones del antiguo Egipto como en la Grecia clásica la unión fundamental será el apoyo simple, y con él el vano elemental. Su misión será exclusivamente la transmisión de la carga vertical, y cualquier otra fuerza en cualquier otra dirección anulará la junta.

Forma, peso y dimensión de las piezas serán, como siempre, determinantes. En ocasiones se pretenderá reducir al máximo el tamaño de los bloques de piedra para poder ser manejados por un solo hombre, como ocurrirá con los 'talatat' empleados

48
F. Auguste Choisy. *Études épigraphiques sur l'architecture grecque.* Paris, Librairie de la Société anonyme de publications périodiques. 1884.

49
John James Coulton, *"Ancient Greek Architects at Work. Problems of structure and design*". Cornell University Press. New York, 1977

en el s.XIV a.C. en la construcción de Tell el-Amarna [50], lo que permitirá que puedan ser recuperados, trasladados y reutilizados sin mayor complicación una vez la ciudad sea abandonada [51].

En otros casos se vaciarán los mármoles de cubierta para rebajar los costes de transporte (Templo de Apolo en Bassai, s. IV a.C.), o las piedras se labrarán con cantos variables para buscar la máxima eficacia de la estructura obteniendo elementos de resistencia equivalente (Hieron de Samotracia, s. IV a.C.). Las piedras serán colocadas a hueso, lo que obligará a conseguir la máxima planeidad en sus superficies de contacto.

La escala de las construcciones y el creciente número de piezas que las componen exigirán la incorporación hacia el siglo V a.C. de grapas y tetones metálicos para garantizar la correcta colocación de cada uno de los elementos y la ausencia de desfases y desplazamientos.

50
Jacquelyn Williamson, *Amarna Period.* In Wolfram Grajetzki and Willeke Wendrich (eds.), UCLA Encyclopedia of Egyptology, Los Angeles 2015.

51
Peter Brand, *Reuse and Restoration*. In Willeke Wendrich (ed.), UCLA Encyclopedia of Egyptology, Los Angeles 2010.

3.1.1. APOYO SIMPLE BAJO PIEDRA

.....

La construcción de la arquitectura monumental egipcia se basaba en el empleo de losas de piedra, de un peso brutal, que darían lugar al resto de elementos arquitectónicos: soportes, arquitrabes y losas de cubierta. Es, por lo tanto, una arquitectura de líneas rectas y de grandes pesos verticales.

En algunas construcciones, sin embargo, estas piedras se emplearían con una posición distinta a la habitual. En la cámara funeraria real de la Gran Pirámide de Giza se introdujeron hasta nueve niveles de losas de monolitos de piedra adintelados, descargadas en vacío y protegidas en la zona más alta por una bóveda de descarga formada por grandes bloques inclinados a dos aguas. La función de esta bóveda era desviar la enorme presión que ejercían los bloques superiores de la pirámide. Este sistema también se emplearía en la cubrición de otras galerías y pasillos.

En la gran galería de acceso a la cámara funeraria se adoptaría otro método: la cubrición se realizaría mediante losas dispuestas en voladizos sucesivos obteniendo así una bóveda. Las losas del techo se encajaban en diente de sierra para no deslizar.

Así, el arco y la bóveda fueron concebidos inicialmente como un sistema de voladizos sucesivos, que, partiendo de las jambas, iban reduciendo el espacio hasta lograr un vano pequeño que pudiera rematarse con sola pieza.

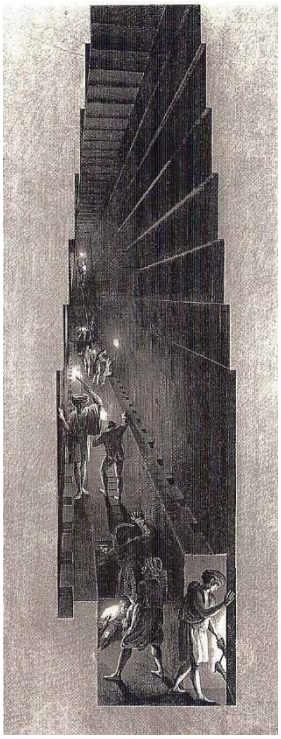
Se trataba de intentar cubrir espacios cada vez con mayor luz o que pudieran soportar grandes cargas, pero siempre con las limitaciones propias de los inmensos bloques de piedra dispuestos a hueso, que sólo admitían la carga vertical, y con la escasez de madera para la construcción de cimbras. Aún se estaría lejos de conseguir el dominio del espacio vacío.

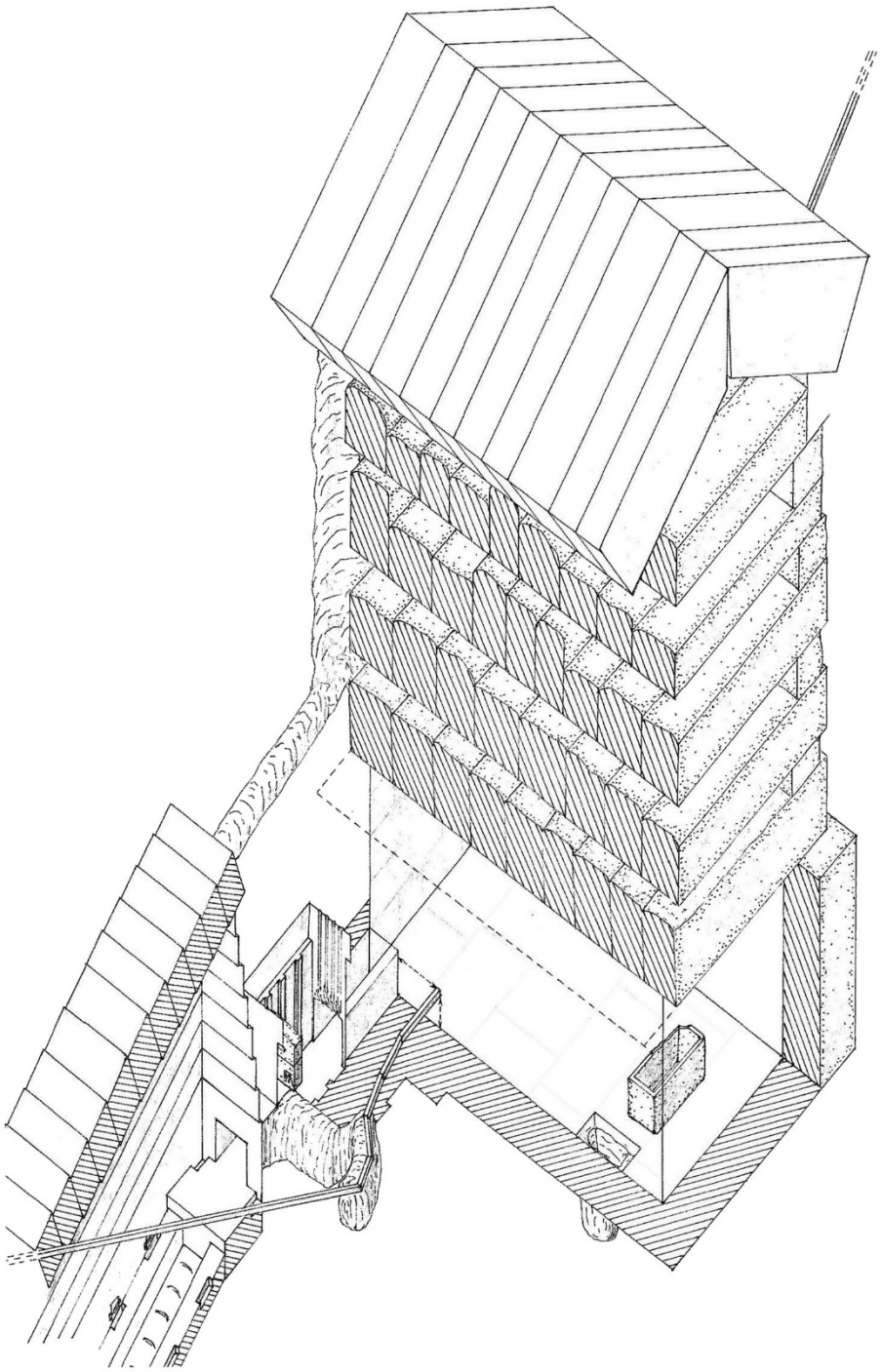
Los pasadizos y galerías se realizaban al mismo tiempo que la pirámide alcanzaba su altura correspondiente. Los pasillos se rellenaban de arena para servir de cimbra a los elementos de cierre y cubrición. La arena sería retirada más tarde por gravedad con ayuda de pozos auxiliares [52].

A pesar de la impresionante magnitud de la construcción, lo que quizás despierte mayor interés de las pirámides es la labor de asentamiento en el terreno, y la compleja organización de los trabajos. La precisa elección del emplazamiento en relación a la orientación, la exactitud de los replanteos, así como el mantenimiento continuo de su levantamiento acorde a sus caras y con la introducción de pasillos interiores, salas y conductos, son trabajos que requieren de un alto conocimiento de las leyes de la geometría y de las matemáticas, y que solo pueden ser desarrollados por hombres con grandes recursos y perfectamente organizados.

52
Francisco Ortega Andrade. *La construcción en Egipto. Primera parte*. Revista de Edificación. RE • Nº 10 • Enero 1992. P. 61.







3.1.1
Cámara del Rey. Pirámide de Keops. c. 2600 a.C. Frank Monier.

Derecha: Cámaras de descarga sobre el techo de granito de la Cámara del Rey, separadas por losas de monolitos de piedra, la más alta coronada con grandes bloques inclinados a dos aguas, que desvían la enorme presión que ejercen los bloques superiores de la pirámide. Izquierda: cubriciones con voladizos.

3.1.2. APOYO SIMPLE RECONSTRUIDO

.....

El templo de Debod fue erigido en la región de Nubia, en pleno desierto, sobre una pequeña meseta inclinada hacia el valle del Nilo. Situado en una zona fronteriza entre el reino nubio de Meroe y el Egipto de los Ptolomeos, este templo forma parte, desde su primera etapa constructiva, de un itinerario religioso que conducía a Filé, la isla donde, según la tradición religiosa egipcia, Isis dio a luz a su hijo Horus.

El templo de Debod fue el santuario y, probablemente, el elemento vertebrador de un núcleo urbano del que se conocen pocos datos. Se construyó a lo largo de más de 200 años y se pueden diferenciar tres etapas constructivas en su desarrollo.

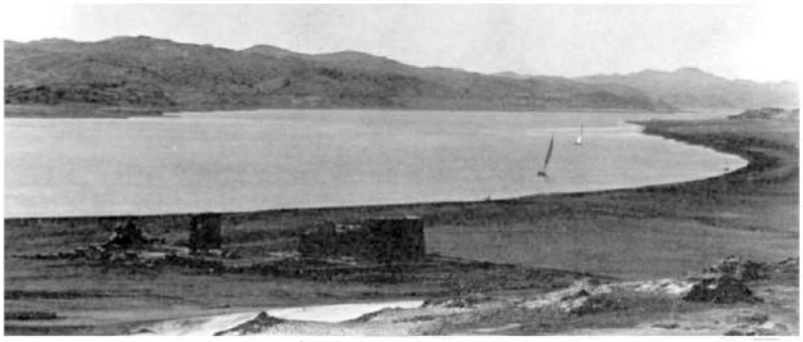
La primera etapa correspondería con la construcción del núcleo del templo, la capilla de los relieves, realizada en el siglo II a.C.. Se trataba de una pequeña sala rectangular con una única entrada por el este. A partir de este núcleo primitivo los faraones Ptolemaicos llevaron a cabo una serie de transformaciones con el objetivo de ampliar el santuario original añadiendo más estancias. Las posteriores actuaciones romanas realizadas a partir del año 30 d.C. se limitaron a añadir cierta decoración y a rematar algunos detalles de la construcción. En el siglo VI d.C. el Emperador Justiniano decretaría el cierre de los templos paganos en todo el Imperio Bizantino. Con el decreto los templos egipcios dedicados a dioses tradicionales fueron clausurados. El Templo de Debod sería entonces abandonado cayendo en un paulatino deterioro.

La primera referencia gráfica del templo nos la ofrece el danés Frederic-Louis Norden en 1737. Tras la aportación de otras documentaciones escritas y gráficas realizadas por varios autores, y una vez finalizada la reconstrucción realizada entre 1907 y 1908 por el Servicio de Antigüedades de Egipto, Günther Roeder publicaría el más completo y detallado estudio que poseemos del templo de Debod.

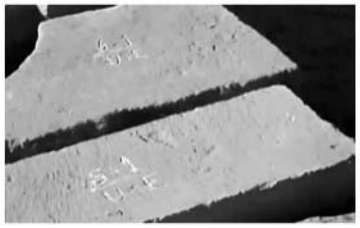
Construida la presa de Assuán en 1907, el templo permanecería sumergido durante cuarenta y nueve años de ocho a diez meses al año bajo las aguas de la presa. Solamente durante el verano quedaba de nuevo libre de la inundación. Este hecho incrementó notablemente su desgaste y ocasionó importantes daños en su estructura.

En 1960 la UNESCO organizó la llamada Campaña de Nubia para salvar los monumentos y yacimientos arqueológicos de aquella región antes de que fueran inundados para siempre. El Comité Español estuvo encabezado por el arqueólogo Martín Almagro Basch. El templo de Debod fue el primero que se desmontó, por ser el más inmediatamente amenazado por su proximidad a la nueva gran presa de Assuán. En 1961 se trasladaron todos los bloques del templo a la isla de Elefantina.

Los trabajos de deconstrucción, realizados por el Servicio de Antigüedades de Egipto, se realizaron de manera precipitada, no llegando a recuperar las piedras de apoyo de los muros de la construcción entre otros elementos.









3.1.2.a
Templo de Debod. Alfonso Martín Flores.
Ed. Ayto de Madrid. pp.9-22

Piezas del Templo de Debod desmontado en verano de 1961. La ciudad de Debod estaba en la frontera norte de la Baja Nubia, a muy pocos kilómetros de la Primera Catarata del Nilo y de los santuarios de la isla de Filé. Las primeras noticias del templo de Debod datan del siglo XVIII. En 1898 se inició la construcción de una presa en la Primera Catarata para regular el caudal del Nilo. Esta presa y sus posteriores elevaciones tendrían consecuencias dramáticas para los templos y sitios arqueológicos nubios que quedaron sumergidos bajo sus aguas.

Una vez desmontado el templo y trasladado a la isla Elefantina, permaneció allí hasta el año 1968 cuando fue donado a España por un Decreto del Presidente Nasser. Las piezas del templo fueron entregadas al equipo español únicamente con un plano del monumento, un croquis de los alzados con una numeración de ubicación de las distintas piedras, y algunas fotos. No se incluyó ninguna referencia escrita.

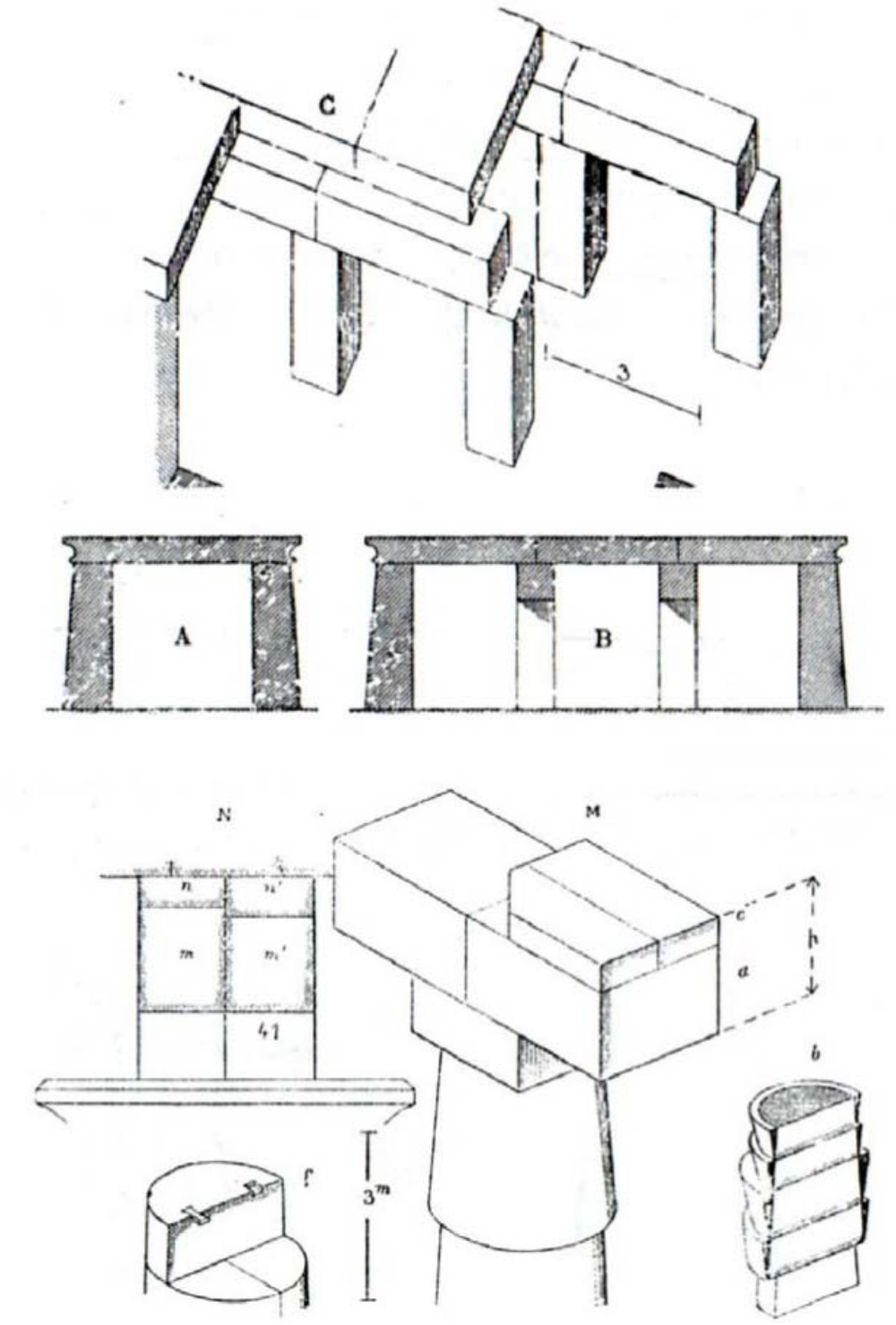
En 1970 el monumento llegaba a Madrid y era reconstruido en la Montaña del Príncipe Pío. Las piezas del templo decoradas, las más importantes, llegaron sin demasiado deterioro, excepto algunos bordes de las mismas, que aparecían con un mayor desgaste al haberlos tenido que desencajar de la construcción con mayor dificultad por haberse utilizado cemento en las juntas en la reconstrucción de principios del siglo XX. Exceptuando estas piezas, de manera general el desmontaje de estos elementos se realizó con bastante cuidado.

Para emplazar el templo en su nueva ubicación se construyó una plataforma que permitiera conservar en primer lugar la orientación este-oeste que el templo tuvo en su ubicación original y también la pendiente de su antiguo emplazamiento. A través de un pódium se logró proteger las construcciones.

Las piedras del templo se colocaron sobre cimientos aislándolas de la humedad del suelo con planchas de plomo. Los bloques se unieron de manera que se pudieran desmontar en el futuro con el menor riesgo posible para las piezas. Las grapas originales en forma de cola de milano que conectaban los antiguos bloques fueron sustituidas por uñas de bronce. En caso de precisar mortero, se ha usado de cal y en ningún momento de cemento.

Algunas partes exteriores del templo tuvieron que ser conformadas de nuevo empleando una arenisca distinta a la original fácilmente identificable que permitía diferenciar los bloques antiguos de los nuevos. También se eliminaron las huellas de grapas de hierro empleadas para asegurar los bloques entre sí. Los grandes dinteles de los pilonos y otros bloques de gran tamaño presentaban encajes de viguetas de hierro con grietas y signos de debilidad, lo que mostraba su sufrimiento al ser desmontados y trasladados a Madrid. Al colocarlos de nuevo en su sitio se intentó evitar poner a la vista esos refuerzos. Por el momento no hizo falta someterlos a endurecimiento químico.

También se reconstruyó el vestíbulo del que fueron robadas sus piedras en el siglo XIX. De este modo el muro interior de este espacio, decorado por Augusto, quedaba ahora en su posición original, dejando de ser fachada del complejo, lo que habría dado una impresión equivocada del templo. Solo algunos tambores de los fustes de las columnas se habrían conservado disponiéndolos así en su posición original.



3.1.2.b
Pórticos y fustes egipcios. *El arte de construir en Egipto*. CEHOPU Juan de Herrera. Madrid, 2006. Ed. Original 1904. F. Auguste Choisy.

En su publicación de1904 *L'Art de bâtir chez les Égyptiens*, Choisy incluye una serie de representaciones de la disposición de las piedras en la arquitectura egipcia. En la parte superior: perspectiva y secciones de un edificio de cantería con un único vano (A), con el vano más grande que se divide en tramos con filas de pilares que soportan vigas de piedras sobre las que se apoya la techumbre (B), y losas de cubierta (C). En la parte inferior: aparejo de los arquitrabes de la sala hipóstila de Karnak.

3.1.3. APOYO SIMPLE MIMÉTICO

.....

El orden dórico es el más antiguo y sencillo de los órdenes arquitectónicos clásicos. También es el orden griego por excelencia. Se empleó en el noroeste de la Grecia Continental, Corfú, Sur de Italia y Sicilia.

El Santuario de Termos en Aetolia (900 a.C.) fue uno de los primeros templos dóricos que se levantaron. Se trataba de una construcción muy sencilla con un ábside en su extremo norte. Los muros eran de adobe con refuerzos de madera, presentaba un zócalo de mampuestos y su cubierta era vegetal. No tenía columnas.

El Segundo Templo de Termos construido en el 800 a.C. incluía un ábside menos curvado y estaba rodeado de columnas de madera que quedaban retiradas varios metros del recinto principal.

En el año 625 a.C. se construye el Templo de Apolo sobre las ruinas de los anteriores templos en Termos. Se trataría de un templo axial, de unos 30 por 80 metros, aún con columnas y entablamento de madera [53].

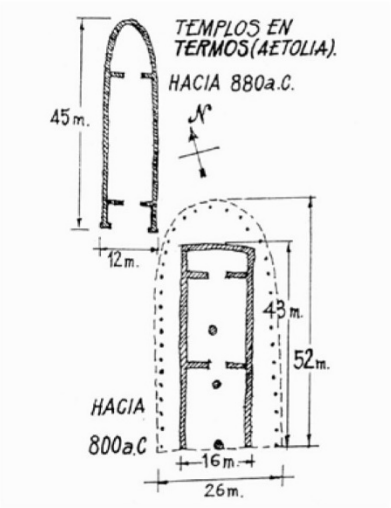
En el Templo de Hera I en Olympia (600 a.C.) todavía la piedra sería un material secundario reservándose para el estilóbato y la base de los muros. Las columnas seguirían siendo de madera, estriadas y con collarín metálico. En el año 170 a.C. estas columnas serían sustituidas por columnas de piedra.

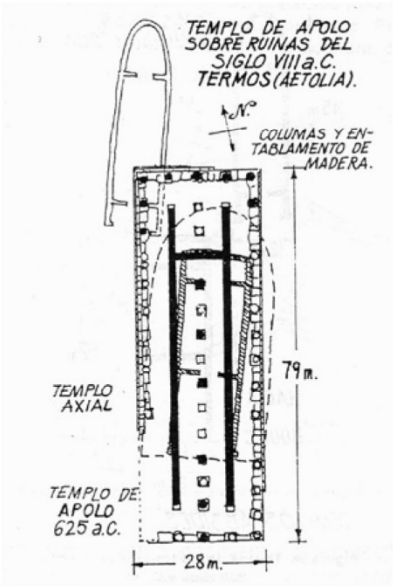
El primer templo griego construido enteramente en piedra fue el Templo de Artemisa, levantado en Corfú en el año 590 a.C. Estos primeros templos dóricos en piedra daban una sensación de excesiva masividad y robustez. Sus columnas tenían una altura que no superaban seis veces el diámetro. Sus elementos eran una traslación directa a la piedra de los elementos de madera de los templos más antiguos.

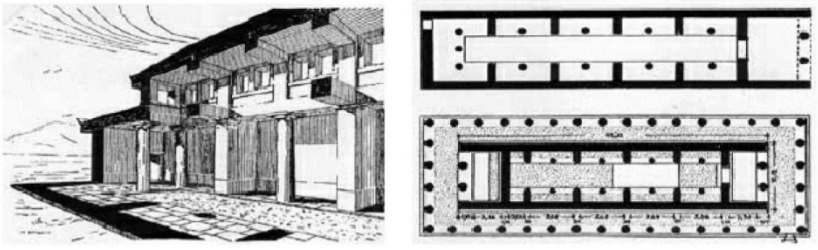
El orden dórico originado en la Antigua Grecia evolucionaría en los siglos posteriores hasta hacerse más esbelto y proporcionado, alargando ligeramente su columna y elevando el perfil de su capitel.

53
Francisco Ortega Andrade. *La construcción en Grecia III*. Revista de Edificación. RE • Nº 14 • Junio 1993. P. 67-74.









3.1.3
Primeros templos dóricos.
Francisco Ortega Andrade.
La Construcción en Grecia III.
Revista de Edificación. RE.
nº 14. Junio 1993. p.65.

Superior: Santuario de Termos (900 a.C.), Segundo Templo de Termos (800ª.C.) y Templo de Apolo (625 a.C.). Inferior: Templo de Hera en Olimpia (600 a.C.).

3.1.4. APOYO SIMPLE Y FLEXIÓN EN CUBIERTA

.....

Las cubiertas antiguas de la región mediterránea se realizaban dos tipos de elementos principales de madera: puntales que funcionaban a compresión y dinteles a flexión. No incluían ningún elemento a tracción. La cubierta griega clásica que más desarrollo obtuvo se empleó para cubrir grandes porches y cellas internas de templos como el Partenón.

Uno de los elementos principales de esta cubierta era la cumbrera longitudinal, que soportaba los extremos superiores de los pares inclinados, habitualmente realizados con escuadrías de madera de gran sección. La cumbrera se apoyaba en puntales que descansaban sobre dinteles horizontales de madera de gran tamaño que trabajaban a flexión. En ocasiones estos dinteles eran sustituidos por las fábricas de los muros de las estancias interiores.

En los hastiales de los templos griegos estos dinteles de madera horizontales se cubrían con el entablamento y el frontón. Desde el exterior del templo se mantenía un nivel horizontal en la base de la cubierta que rodeaba todo el edificio que le otorgaba una gran unidad.

La cubierta se soportaba por una sucesión de dinteles enlazados con distintas luces que se apoyaban en los muros y en las columnatas interiores y exteriores. Los extremos de estos elementos horizontales se alojaban habitualmente en cajas practicadas en los bloques de piedra perimetrales y eran sostenidos por el peristilo o por algún entablamento.

Los pares soportaban a las correas de madera que se disponían paralelas a la cumbrera. Eran también piezas de un tamaño importante: las seis cajas para las correas que se han localizado en el hastial oeste del Partenón miden 94x95 cm [54]. Así, la conformación de cajas en las distintas piedras, y los elementos "auxiliares" y de apoyo de estas cubiertas se convertirían en elementos fundamentales, indispensables para la construcción de las mismas.

54
Robert Mark. *"Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica"*. Ediciones Akal. 2002.

En las cubiertas griegas clásicas las uniones de las distintas secciones de madera no eran un factor técnico determinante. Ningún elemento funcionaba a tracción, y las piezas a flexión y compresión eran soportadas por fábricas o por puntales.

La cella del Partenón, con una luz de 10 metros, se cubrió de manera independiente al resto de la construcción. Se emplearon grandes vigas horizontales espaciadas apoyadas en los muros perimetrales y en la columnata interior. Para realizar la estructura de la cubierta se dispuso una cumbrera y tres correas a cada lado sobre puntales que descansaban en la columnata de la cella, el muro, y el peristilo respectivamente. Se ha estimado que el ancho de la sección de la viga necesaria para soportar la carga de la cumbrera debió de ser de al menos 65 cm.

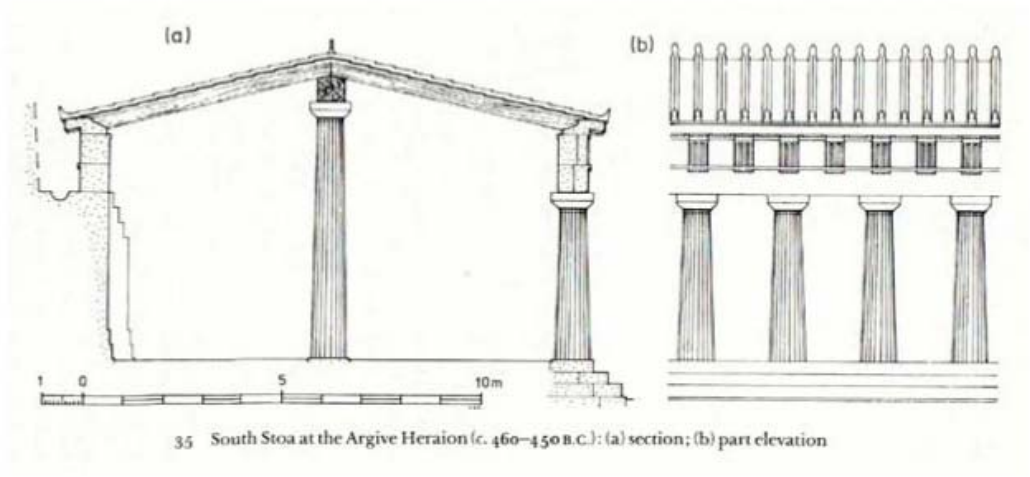


3.1.4.a
Partenón de Atenas c. 447-432 a.C.. Ictinos y Calícatres. Imagen tras el bombardeo de 1687.

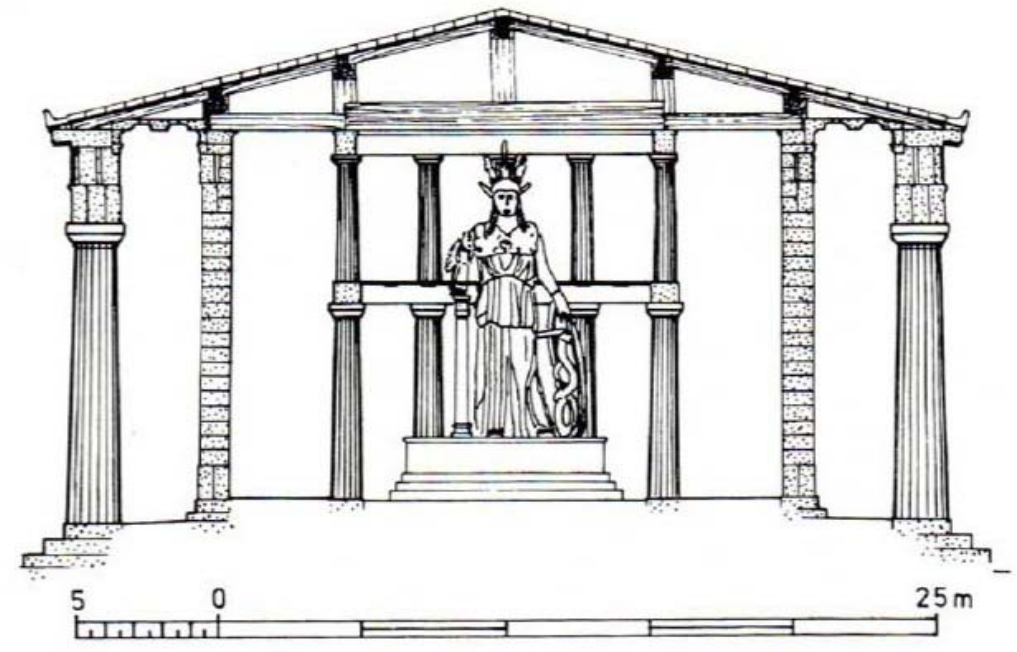
Uno de los de los daños más importantes que sufrió el Partenón fue en 1687, durante el sitio de la República de Venecia a Atenas. Los turcos utilizaron el Partenón como almacén de pólvora que explotó cuando fue bombardeado por las tropas venecianas destruyendo gran parte del templo, el techo, columnas, muros...:

Ictinos y Calícrates probablemente emplearon cipreses de creta para la conformación de las distintas piezas de la cubierta del Partenón, por la posibilidad de obtener grandes escuadrías y por su gran calidad.

Los constructores griegos no usaron cerchas trianguladas de madera. Las vigas transversales no actuaban como tirantes a tracción, si no como piezas "autoportantes". Los carpinteros con frecuencia intentaban reducir la sección de la pieza de cumbrera para poder disminuir la sección del puntal sobre el que descansaba y así para rebajar la carga puntual que caería en la mitad del dintel transversal. Así, los constructores griegos aprendieron que una viga con una sección importante funcionaba bien si la carga central del puntal no era demasiado elevada y la luz se mantenía en torno a los doce metros. Las cerchas no se emplearían de manera generalizada en el mediterráneo hasta la expansión de la arquitectura romana en el siglo II a.C..



35 South Stoa at the Argive Heraion (c. 460–450 B.C.): (a) section; (b) part elevation



3.1.4.b
Heraion de Argos y Partenón de Atenas s. V. a.C. J.J. Coulton. *Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design.* Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 93, p.114.

Superior: stoa sur en el Heraion de Argos (c. 460-450 a.C.): sección y alzado. Inferior:Partenon de Atenas (c. 447-432 a.C.).

3. 2. EMPUJE Y TRACCIÓN

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Empuje:

1. m. Acción y efecto de empujar.

2. m. Esfuerzo producido por el peso de una bóveda, o por el de las tierras de un muelle o malecón, sobre las paredes que las sostienen.

[…]

Tracción:

[…]

3. f. Mec. Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a alargarlo.

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Tracción: Del lat. *tractio, -ōnis*.

Propiamente es la acción con sufijo –tion del verbo trahêre (arrastrar, tirar). Es sobre todo el latín medieval el que empieza testimoniadamente a usar este término de manera generalizada con el valor de la acción de una fuerza para tirar de algo o arrastrarlo, y así lo vemos en Tomás de Aquiño (s.XIII) y sobre todo, como vocablo extrarodinariamente empleado en todos sus sentidos mecánicos figurados, en la obra de Guillermo de Ockham (s.XIII-XIV).

.....

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas.* Ed. Mc Graw Hill 2005, p.119.

"El empleo de esos materiales y de los servicios de los artesanos locales generaría actividad económica local, y podría mantener a tantos residentes como fuera posible. Involucraría a los habitantes locales en la construcción de su propia comunidad y les mantendría conectados a la herencia cultural de la región, ya que ellos mismos ayudarían a perpetuar lo estéticamente distintivo de las estructuras. Reclutar a los artesanos locales para entrenar a los jóvenes en el uso de los materiales y técnicas locales alentaría el contacto intergeneracional."

"Todo ello nos debe llevar a valorar la complejidad de una construcción como pueda ser este edificio italicense, complejo, pero también por ello muy bien organizado para que todas y cada una de sus piezas encajaran sin sorpresas de última hora. Esto obligaba a que se emplearan unas normas sistemáticas en la fabricación de piezas, regidas por estrictos cálculos geométricos, puestos de manifiesto tanto en basas como también en fustes y capiteles. Es además muy posible que existieran códigos que les permitieran en todo momento identificar la posición en la que deberían ubicarse todas y cada una de las piezas, ya que, en la mayoría de los casos, ésta no podía ser intercambiable."

. . . . . .

Oliva Rodríguez Gutierrez. *Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos*. CuPAUAM 24, 1997, pp. 209-252

"La forma geométrica en Cantería es inseparable de la función estructural. Las dovelas de un arco o de una bóveda sólo serán estables y su comportamiento mecánico correcto si su geometría también es correcta, y ello sólo es posible cuando sus cortes son radiales. De este modo la Construcción es totalmente consecuente con la Geometría y el oficio de construir en piedra es básicamente un arte basado en las trazas geométricas. Con la Cantería no cabe el pretendido divorcio entre diseño arquitectónico y Construcción. Nunca se han integrado mejor Construcción y Arquitectura que en una obra de cantería. Nunca un material ha influido tanto en el proyecto arquitectónico."

. . . . . .

José Fernández Salas. *Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones*. Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid, 19-21 septiembre 1996. p.190.

"Los romanos construyeron como las abejas hacen sus cedillas; es maravilloso, pero las colmenas de hoy se completan igual que las del tiempo de Noé. Demos fundición, hierro forjado, palastro, madera y vidrio, a los arquitectos de las termas de Tito, y pidámosles que hagan una gran lonja, y nos dirán que no se puede construir nada con estos materiales. El ingenio moderno es distinto: decidle que levante una sala de 20 metros de luz con cartón, y no contestará que es imposible; lo intentará, inventará maneras de dar rigidez al cartón, y podemos estar seguros de que levantará el salón."

. . . . . .

Eugène Viollet-le-Duc. *La construcción medieval*. Editado por E. Rabasa Díaz y S. Huerta Fernández. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, 1996. p. 57.

.

3.2. EMPUJE Y TRACCIÓN

.....

La expansión romana provocó una evolución de las técnicas constructivas que se empleaban en los territorios conquistados hasta el momento.

Inicialmente los romanos imitarían las técnicas griegas, pero la rápida expansión del imperio, basada en la fundación y la consiguiente construcción de un gran número de ciudades, requirió el desarrollo de nuevas técnicas con las que obtener una mayor eficacia y un mayor rendimiento.

En el siglo II d.C. el Imperio Romano introduce en sus construcciones el arco y con él sus desarrollos, la bóveda y la cúpula. La junta horizontal simple de compresión evoluciona hasta la vertical, que vendrá acompañada del obligado llagado activo entre sus partes. La albañilería se convertirá entonces en la técnica dominante.

El emperador Adriano será el máximo impulsor de esta nueva técnica. La impresionante Villa Adriana, construida en apenas dos años, muestra por qué estas técnicas de albañilería se impusieron rápidamente. Aparecen así los sistemas constructivos continuos que carecen de la posibilidad de ser desmontados, en gran parte debido al empleo de los hormigones romanos basados en cementos puzolánicos.

Gracias a estas técnicas de sistemas continuos y al ladrillo, la ingeniería romana desarrolló las grandes bóvedas de cañón (Coliseo, s. I d.C.), por arista (Tepidarium de las Termas de Caracalla, s. III d.C., con luces de 23 m y las Termas de Diocleciano, s.IV d.C., entre otras) y, sobre todo, la cúpula esférica, con dos aportaciones fundamentales: el Panteón de Roma y Santa Sona en Constantinopla. En el Panteón se

desarrolla una solución nervada con casetones interiores y arcos de descarga al exterior. En Santa Sofía se resuelve la transición de la planta cuadrada a la circular mediante pechinas y el contrarresto de los enormes empujes de la cúpula mediante nichos esféricos. Se trata de casos de aplicación de la geometría al más alto nivel [55], que darían lugar al dominio del espacio vacío.

Los sistemas constructivos continuos se han mantenido, con sucesivas degradaciones y cambios de material, hasta nuestros días.

Para la cubrición de las edificaciones, los romanos también introducirían elementos a tracción en el diseño de las cubiertas de madera, lo que les permitiría avanzar también por este camino en el aumento de las luces de las estructuras.

55
José Fernández Salas. *Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones*. Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid, 19-21 septiembre 1996. p.194.

3.2.1. EMPUJE Y TRACCIÓN EN HORMIGÓN

.....

Roma no disponía de canteras de mármol próximas a los lugares de construcción como ocurría en su vecina Atenas. En las provincias era habitual encontrarse con ladrillo y piedras locales de distinta calidad entre los materiales empleados para levantar los edificios. También abundaban algunas rocas como el peperino, el travertino y tobas volcánicas.

El descubrimiento de la ceniza volcánica de Pozzuoli, para ser aplicada en construcción, permitiría a los romanos trabajar con un nuevo material, el hormigón puzolánico, abriendo un importante abanico de oportunidades.

A diferencia de los morteros compuestos por cal viva y arena, los cementos formados por arena volcánica y cal, o el propio cemento Portland que utilizamos hoy en día, son hidráulicos. Esto significa que, además de fraguar al aire, tienen un curado químico relativamente rápido también debajo del agua. De este modo, el hormigón puzolánico podía ser empleado tanto en estructuras de hormigón en masa de grandes edificios como en construcciones realizadas bajo el nivel del mar.

La consistencia del hormigón romano no era tan fluida y homogénea como la del hormigón moderno, lo que le impedía ajustarse a distintas configuraciones. El hormigón puzolánico se colocaba con la mano junto con trozos de escombros recuperados de construcciones antiguas. Al no disponer de armaduras de acero en su interior, este hormigón no resultaba un material adecuado para la absorción de fuerzas de tracción, que sólo podían ser soportadas por las débiles uniones de cemento. En este sentido no se diferenciaba demasiado de la piedra o del ladrillo. Durante el siglo II d.C. el hormigón puzolánico fue el material empleado para prácticamente todas las construcciones a gran escala levantadas en el imperio.

Los encofrados del hormigón romano eran a menudo fábricas permanentes de ladrillo o piedra. Los elementos de estos muros solían tener una sección triangular para aumentar al máximo la superficie de contacto entre la capa exterior y el hormigón interior.

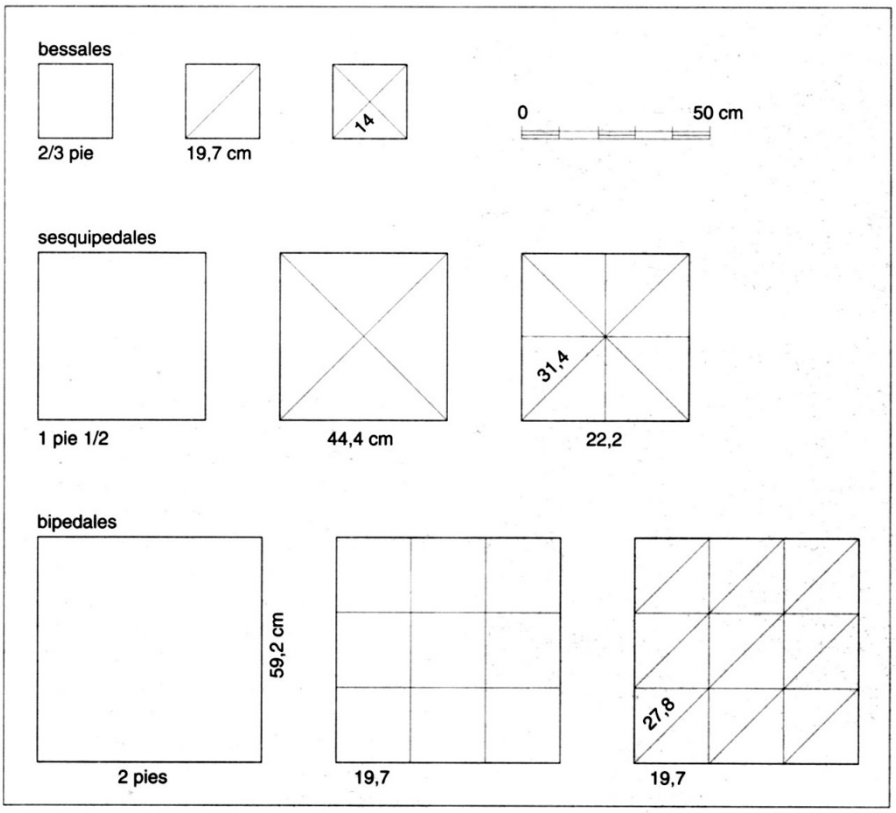
Se distinguen distintas fábricas de encofrado según sus piezas: el *opus incertum* consistía en una fábrica irregular de pequeñas piedras con distintas formas y, aunque su uso disminuyó a finales del siglo II a.C., siguió utilizándose en murallas y construcciones toscas; le sucedería el *opus reticularum*, más ordenado, formado por piezas cuadradas colocadas diagonalmente, que daría lugar a una nueva estandarización de los bloques de piedra; en el siglo I d.C. este opus sería sustituido por el *opus testaceum*, realizado con ladrillos y piezas cerámicas.

El ladrillo fue un material muy utilizado en el Imperio Romano ya que resultaba barato y rápido de producir en condiciones industriales obteniendo piezas de tamaño y forma estandarizados. Su forma era cuadrada, con una dimensión de hasta 60 centímetros

de lado y con un espesor de unos 6 centímetros. Cuando se cortaban por sus diagonales los ladrillos mayores, llamados bipedales, o los sesquipedales, de pie y medio, se obtenían cuatro ladrillos vistos triangulares de dimensiones estandarizadas. La llaga de unión entre estos ladrillos iría aumentando a lo largo del tiempo, pasando de medir 3 centímetros en las primeras construcciones, a 4 centímetros a comienzos de siglo II, y 6 centímetros en el siglo IV coincidiendo con la altura del ladrillo.

Habitualmente se disponían hiladas de nivelado en los muros, aproximadamente cada metro y medio de altura, formadas por ladrillos bipedales que quedaban en una posición flotante sin estar trabados con ningún otro componente. Por un lado, servían como cubrición del hormigón colocado en cada fase de la construcción, y por otro, creaban planos similares a las actuales juntas de dilatación absorbiendo las deformaciones estructurales y previniendo la aparición de grietas en el muro.





3.2.1
Opus romanos y ladrillo romanos estandarizados. Jean-Pierre Adam. *La construcción romana, materiales y técnicas.* Editorial de los Oficios. 1996.

Superior: opus testaceum y opus reticulatum en restos de muros romanos. Inferior: partición de ladrillos romanos cuadrados de medidas estandarizadas.

3.2.2. EMPUJE Y TRACCIÓN EN ENTRAMADOS DE CUBIERTA

.....

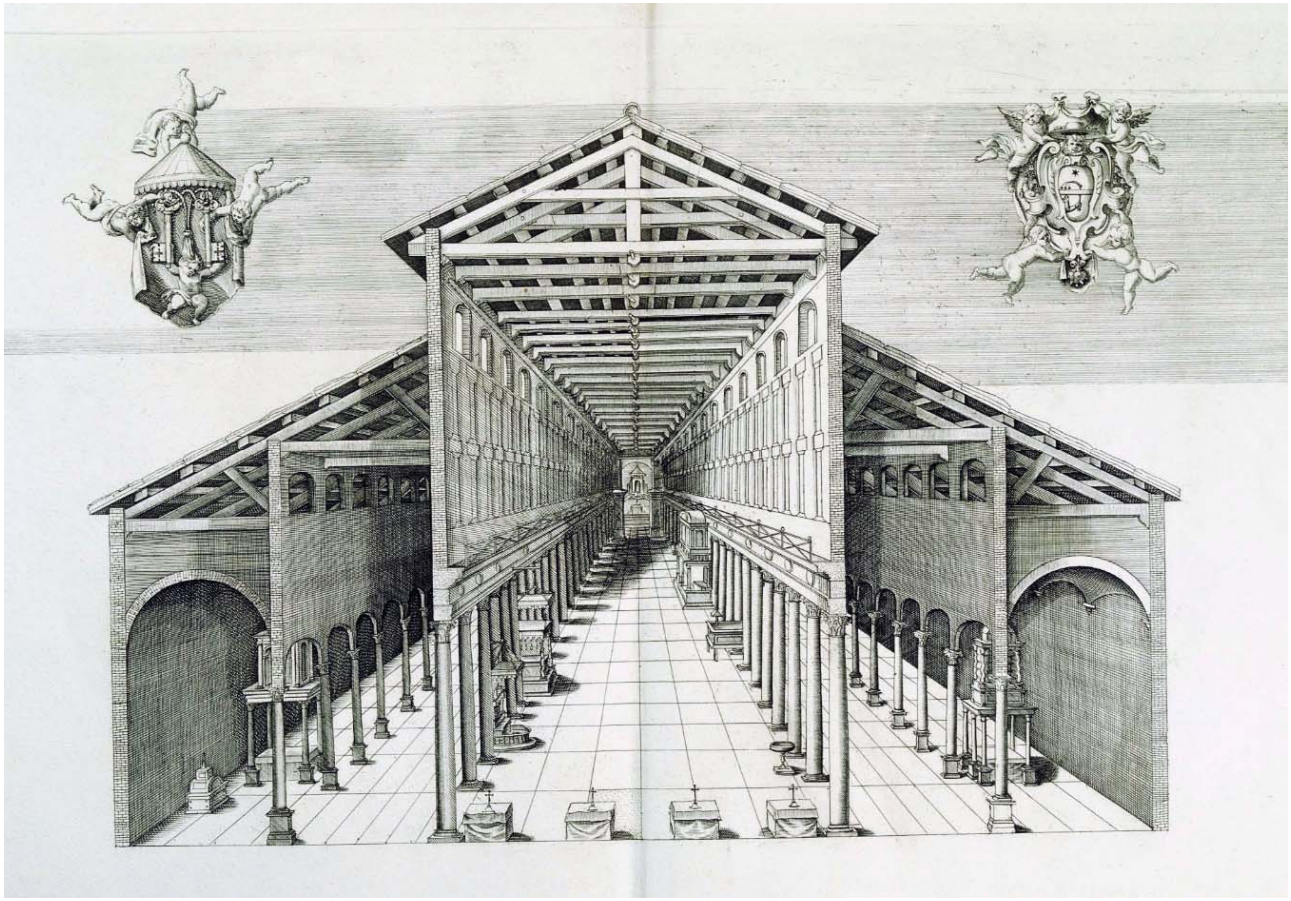
Rondelet llegó a recoger en su tratado la antigua estructura de la cubierta de la Basílica de San Pablo Extramuros, construida en Roma en el siglo IV d.C., con una luz de casi 25 metros, antes del incendio que tuvo lugar a principios del siglo XIX. Gracias a sus dibujos y explicaciones podemos entender el diseño y funcionamiento de la estructura original.

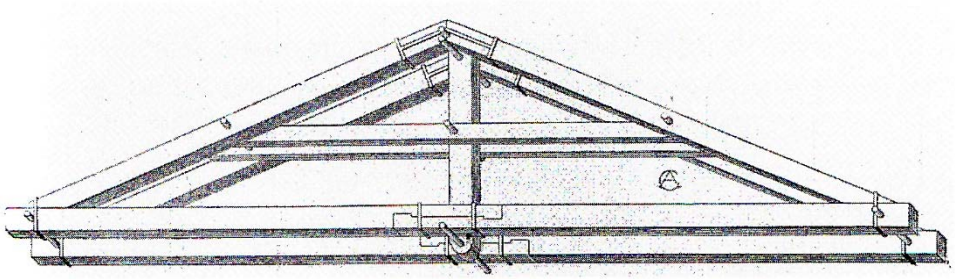
Las primeras cerchas que se colocaron en la cubierta de la Basílica, de madera de pino, estarían diseñadas con un entramado doble utilizando tirantes pareados y un montante suspendido en la parte central que actuaba como un anclaje. El extremo superior del montante estaba fijado mediante un perno de hierro a través de la unión de los pares y su base quedaba asegurada gracias a un pasador de madera que prevenía que el tirante pandease. Los pares, que se disponían a ambos lados del montante, estaban separados unos 20cm.

Estas cerchas compuestas, dispuestas cada 3,5 metros, soportaban las correas y una pieza de cumbrera.

La sección de las mayores escuadrías de madera empleadas en la estructura de la cubierta de la Basílica resulta mínima en relación con la luz que cubre. Este factor es especialmente llamativo si comparamos esta estructura con los sistemas de enormes montantes y dinteles de los templos griegos. La optimización material en San Pablo se debe al acertado funcionamiento estructural de cada uno de los elementos, y a la introducción de la tracción como un esfuerzo nuevo a resolver.

La cercha doble de la basílica mostraba además una acertada configuración de las juntas a tracción necesarias para que el montante central trabajara sosteniendo el punto medio de los tirantes.





3.2.2
Antigua Basílica de San Pedro. 326-356 d.C. Libro de l'Architettura di San Pietro nel Vaticano. Martino Ferrabosco.

La misma solución planteada en la cubierta de San Pablo Extramuros (386-440 d.C.) ya había sido aplicada a otras basílicas levantadas en la misma época, aunque con menor luz, como la Antigua Basílica de San Pedro (326-356 d.C.)

3.2.3. EMPUJE Y TRACCIÓN Y EL PENDOLÓN COLGANTE

.....

El Monasterio de Santa Catalina en el Monte Sinaí fue construido y fortificado bajo el mandato de Justiniano entre los años 548 y 565 d.C. La cubierta de su nave central es la cubierta en madera más antigua que existe. Las inscripciones realizadas en sus piezas atribuyen su construcción a Stephanos de Aila.

La basílica no es especialmente grande, presentando una luz en la nave central de 6,5 metros. Trece cerchas de madera soportan las correas longitudinales y el material de acabado de la cubierta.

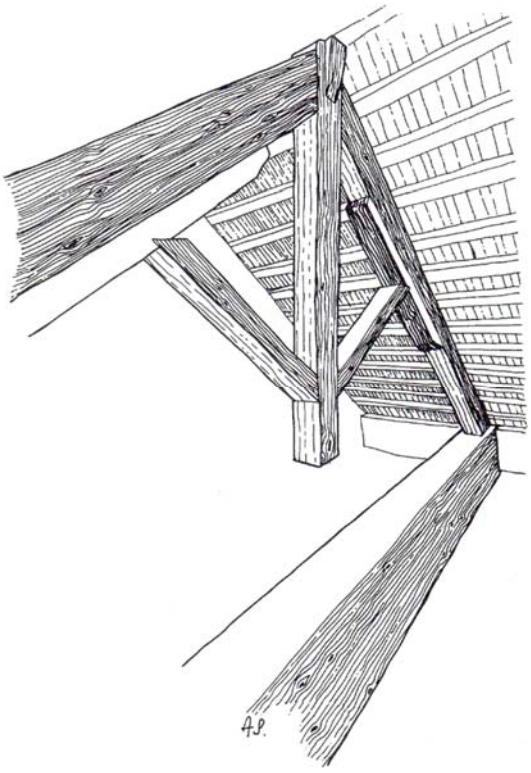
Parejas de pares se unen en la cumbrera a un montante central que queda suspendido y en su parte inferior al tirante mediante pasadores. El montante central, que no llega a alcanzar el tirante, soporta dos tornapuntas diagonales que llegan hasta el tramo medio de los pares. En su extremo superior los pares sostienen una pieza de cumbrera. Esta unión está rigidizada por otra pieza de madera unida por un gran pasador.

Las tornapuntas, que trabajan a compresión, están unidas mediante pasadores a la parte inferior del montante suspendido, que trabaja a tracción. Además, las tornapuntas aparecen conectadas a los pares mediante pasadores que les conectan con piezas adicionales clavadas en la cara inferior de las vigas inclinadas y que refuerzan su sección.

Hoy encontramos en esta estructura elementos de metal que unen el montante suspendido central de algunas de las cerchas al tirante inferior queriendo simular el sistema portante a tracción de la cubierta de Basílica de San Pedro o de la de San Pablo Extramuros. Muy probablemente se trate de elementos añadidos posteriormente al construir otras estructuras superpuestas.

Las cerchas de la Basílica de Santa Catalina suponen uno de los primeros ejemplos de una forma arquetípica de cubierta: la cercha de pendolón colgante. Este tipo de estructura ha continuado utilizándose hasta nuestros días.





3.2.3
Monasterio de Santa Catalina en el Monte Sinaí (548- 565 d.C.)

Las cerchas de la Basílica de Santa Catalina presentan la conformación de cercha de pendolón colgante. Este tipo de estructura ha continuado utilizándose hasta nuestros días.

3.2.4. EMPUJE Y TRACCIÓN EN ESTRUCTURAS FLOTANTES

.....

El puente pontón o puente flotante o puente de barcos es un puente que flota en el agua y en el que pontones barcaza o barcas sirven como apoyo a la cubierta y soportan sus cargas dinámicas.

Son generalmente estructuras temporales, aunque algunos pueden utilizarse durante largos períodos de tiempo. Los puentes temporales se emplean frecuentemente en tiempos de guerra para el cruce de ríos, y, dependiendo del vencedor de la batalla, son desmontados o destruidos después de cruzar. Los permanentes se emplean para el cruce de aguas donde no resulta económicamente viable suspender o apoyar un tablero entre pilares anclados.

Sus orígenes se remontan a la antigua China (s. IX a.C.) y Persia (Jerjes, 480 a.C.). Sin embargo, probablemente fue el ejército romano el que hizo del puente de pontones fácilmente montable un elemento habitual en su imperio.

El puente pontoon es una estructura básica fácil de construir, formada por múltiples pontones flotantes que se mantienen unidos. Flota en el agua sin necesidad de soportes o pilares. No es necesario el empleo de clavos en su construcción, todo se mantiene atado dando lugar a un conjunto flexible, fácil de construir, desmontar, mover y volver a utilizar.

El puente está diseñado para moverse ligeramente con la corriente evitando así su rotura. Su construcción se realiza con pocos componentes. El más importante de estos componentes es el flotador o pontón. Inicialmente los pontones eran de madera, también se han empleado pontones de caucho, y de estructura de barras de madera envuelta en lona de dimensiones 26x5x2 pies.

Mover estos puentes no era una tarea fácil. Una caravana típica consistía en 34 vagones pontoon y 28 vagones de forja y herramientas. Cada pontón requería un vagón, el cable y el ancla se colocaban en el interior de la barca, los remos, toletes, garfios y cuerdas bajo el eje trasero.

El ancho del río y la naturaleza de las orillas determinaban la elección de la mejor ubicación para comenzar a construir el puente. Tras la preparación de los apoyos en los bordes (que a veces requerían importantes movimientos de tierra), y la descarga y montaje de los barcos, los primeros dos pontones una vez anclados aguas arriba se derivan aguas abajo y se aseguran en su posición mediante otra ancla intermedia. Todos los barcos se aseguran en la línea de anclas superiores, pero sólo uno de cada dos se sujeta con anclajes intermedios. Una vez colocado el primer pontón se repite el mismo procedimiento.

Se colocan ahora las vigas entre la tierra firme y el primer barco. Estas vigas son traviesas de madera que se fijan a las bordas del costado del barco dejando seis



Puente pontoon en Petesburg. Virginia. 1865. Civil war photographs, 1861-1865 (Library of Congress.).

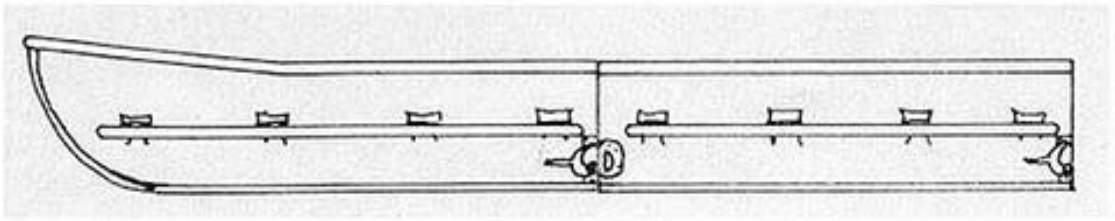
3.2.4.a
Puente pontoon en Petesburg. Virginia. 1865. Civil war photographs, 1861-1865. Fuente: Library of Congress.

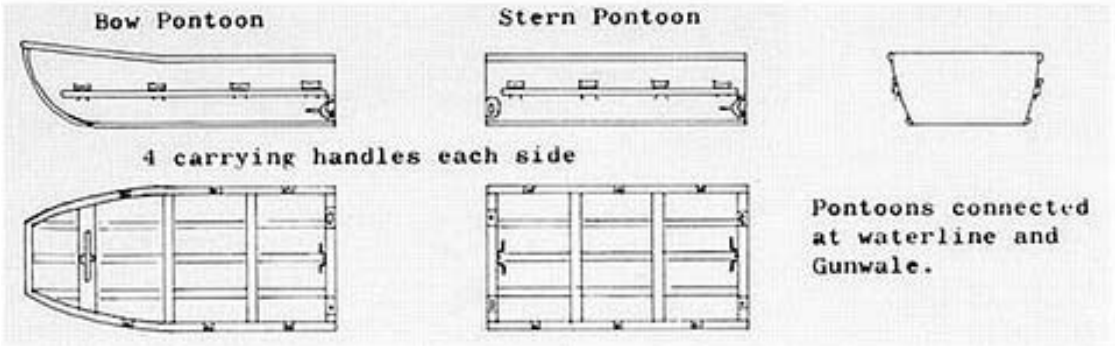
centímetros volando fuera del pontón. Además de actuar como espaciadores soportan el tablero de la cubierta del puente. Los pontones mantienen habitualmente una separación de 20 pies. Posteriormente se amarra todo el conjunto. Las tablas de la cubierta tienen una longitud de 13 pies y se colocan perpendiculares a las vigas volando 1 pie sobre el pontón. Unos bordillos laterales ("carriles") se colocan sobre el tablero de cubierta encima de las vigas exteriores y se atan a las tablas y a las vigas.

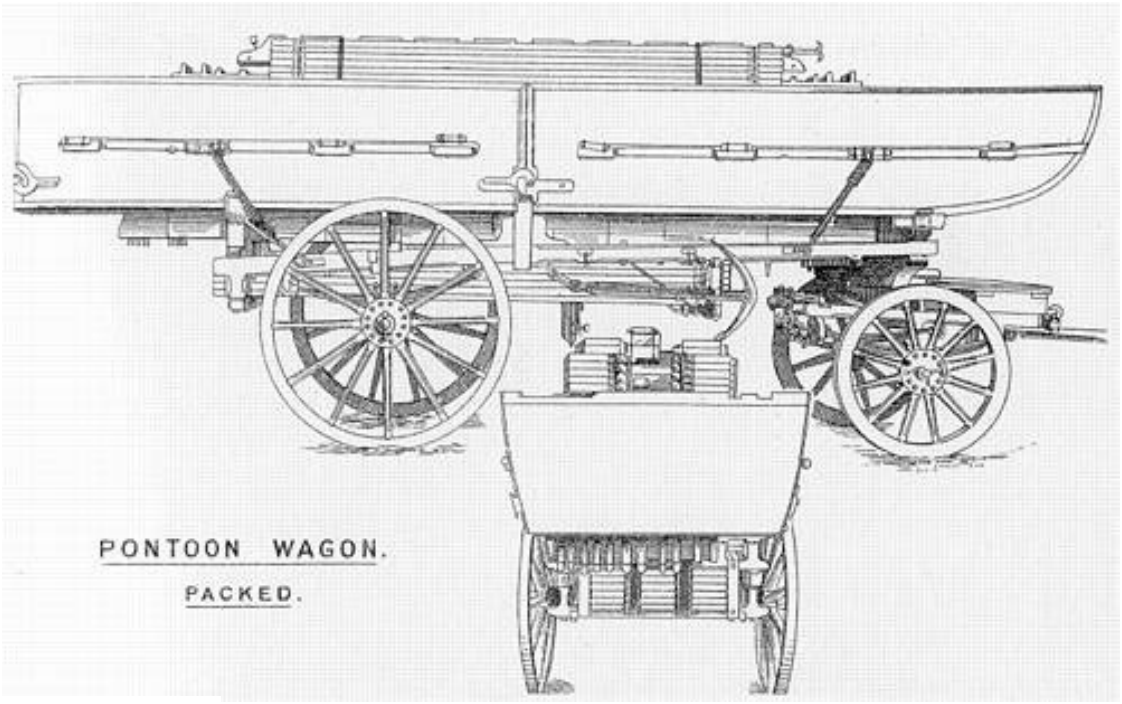
El desmontaje del puente dependía de la victoria o pérdida en la batalla. Si el balance era positivo se desmontaba el puente de manera inversa a su construcción y se cargaba en los vagones. Si se requería un retiro rápido se cortaban las líneas de anclaje iniciales de los extremos dejando al puente a la deriva hasta un lugar donde se pudiera desmontar.

Para su montaje se requerían seis equipos de hombres especialmente entrenados para ejecutar cada paso. La "Union Army" llegó a construir un puente de 2.200 pies sobre el río James en cinco horas empleando a 450 hombres.

El empleo de estos puentes ha llegado hasta nuestros días, destacando su uso militar.







3.2.4.b
Carruajes pontones y montaje pontoon. Grabado Ilustración Antigua. Bauhaus1000. 1851.

Carruajes pontones y montaje pontoon. Grabado Ilustración Antigua. Publicados en 1851.

3.2.5. EMPUJE Y TRACCIÓN EN PROTOTIPOS

.....

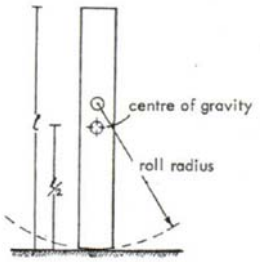
En 1950 y 1951, Frei Otto desarrolló un modelo para explicar las líneas de empuje. Esto surgió de la consideración de que una dovela es estable sólo cuando el radio de rodadura de la superficie de apoyo es lo más grande posible, al menos mayor que la mitad de la altura de la dovela.

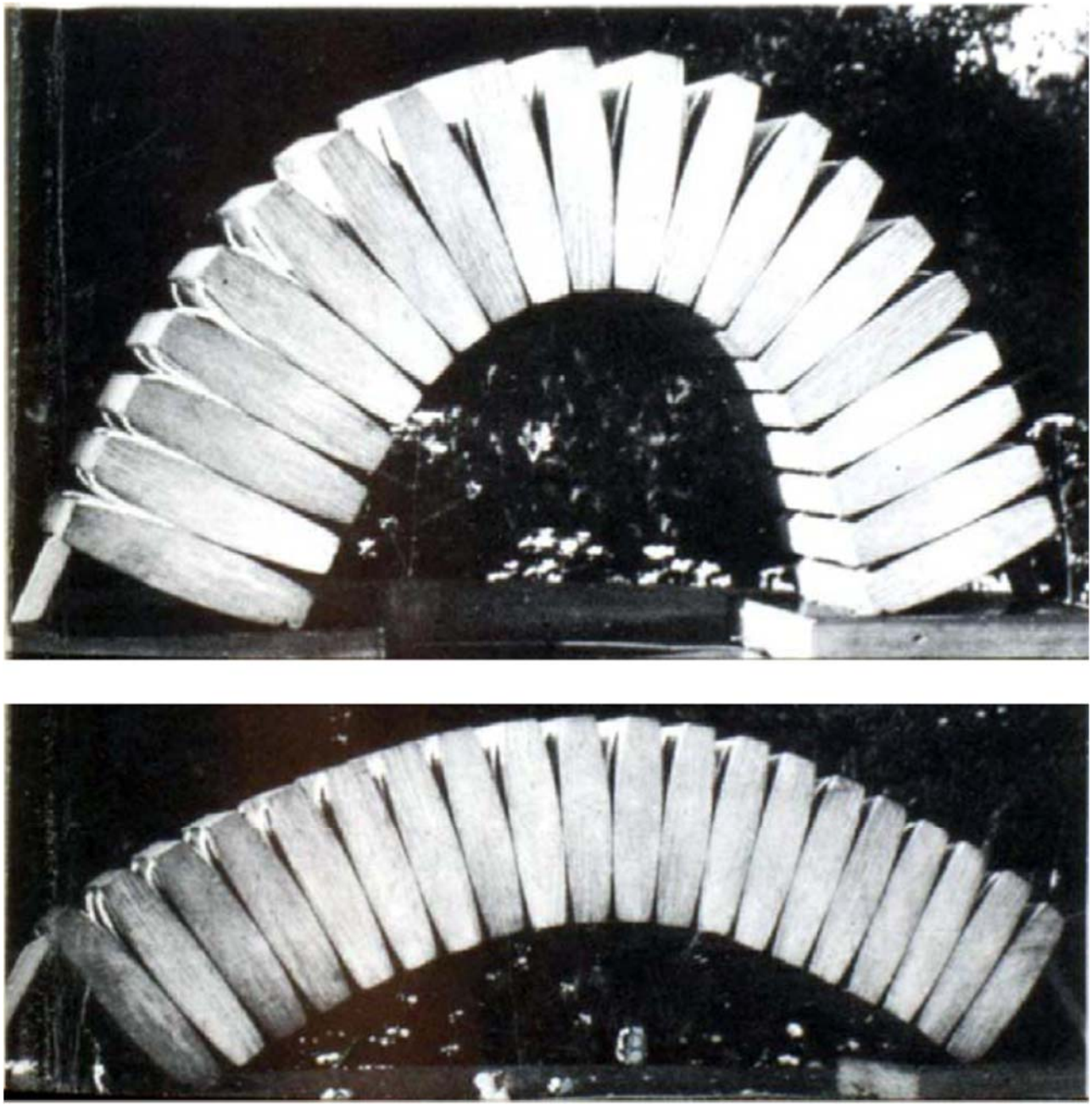
Una cadena de empuje consta de eslabones que ruedan uno encima del otro. El radio de rodadura de las articulaciones es mayor que la mitad de la longitud de la cadena.

La cadena de empuje adoptará de manera independiente la forma de la línea de empuje más favorable, que está marcada en los puntos de contacto de las uniones de las piezas de la cadena. En el caso de una carga de peso propio, los puntos se encuentran en una catenaria. En caso de carga unilateral, la cadena se deforma. Se desvía bajo la carga mientras la línea de empuje migra contra la región de rodadura de las juntas, es decir, colapsa cuando la línea de empuje abandona la región de la cadena bajo la influencia de fuerzas excéntricas elevadas. Una cadena de empuje de este tipo siempre regresa a la misma línea de empuje, independientemente de cómo se altere su posición.

Este modelo corresponde a un arco completamente articulado. Y no responde a estructura únicamente teórica. Se puede considerar que todo arco de ladrillo de bloques, empleado como estructura portante, cuyo mortero es más débil que el propio material de las piezas, tiene las mismas juntas que las aplicadas en el modelo. Las juntas actúan como articulaciones con un gran radio de rodadura [56].

56
Frei Otto. *Gridshells. IL 10*. Krämer. Stuttgart, 1974. p 21.





3.2.5
Frei Otto. *Gridshells. IL 10*.
Krämer. Stuttgart, 1974. p 21

Modelo experimental de líneas de empuje en un arco.

3. 3. JUNTA ELÁSTICA

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Junta:

[…]

5. f. Unión de dos o más cosas.

6. f. Parte en que se juntan dos o más cosas.

[…]

8. f. Constr. Espacio que queda entre las superficies de las piedras o ladrillos contiguos de una pared, y que suele rellenarse con mezcla o yeso.

9. f. Constr. Cada una de las superficies de las piedras o ladrillos entre los que hay una junta.

[…]

Elástica:

1. adj. Dicho de un cuerpo: Que puede recobrar más o menos completamente su forma y extensión tan pronto como cesa la acción de la fuerza que las deformaba.

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Junto:

Del lat. *lunctu-a-um* (unido, uncido, enlazado) que no es más que el participio perfecto del verbo *iungere* (uncir, enlazar, unir, poner el yugo).

Elástico:

Del lat. mod. elasticus, y este del gr. ἐλαστός elastós 'maleable' y el lat. -ĭcus '-ico'.

La palabra ‘elástico’ fue creada durante el Renacimiento (elasticus = dúctil), partiendo del griego ἐλατός (elatos = [metal] forjado, moldeado) y el sufijo – Τίκος (tikos = realtivo a). De ahí tenemos la palabra elasticidad, o sea, la cualidad (-dad) de elástico.

"si no podían sino imitar muy mal los procedimientos romanos, con más razón en el conjunto se encontraban continuamente acorralados por dificultades que estaban lejos de poder resolver: faltos de saber y disponiendo sólo de tradiciones casi extinguidas, no teniendo obreros hábiles ni maquinaria poderosa, avanzando a tientas, perseveraron e hicieron de hecho inauditos esfuerzos para levantar edificios de pequeñas dimensiones, para procurarles solidez y, sobre todo, para abovedarlos."

. . . . . .

Eugène Viollet-le-Duc. *La construcción medieval*. Editado por E. Rabasa Díaz y S. Huerta Fernández. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, 1996. p. 5.

"Pero tal vez la conquista más culminante y asombrosa de la Cantería […], sea la bóveda gótica de crucería, que supuso un cambio cualitativo de excepcional importancia al establecer, de modo concluyente, el entramado de piedra. La bóveda por arista, que evoluciona a la nervadura, mediante el grafismo geométrico, supone el paso de la bóveda-muro a la bóveda-nervio y de la estructura de superficie a la estructura lineal. Se diferencian claramente, en esta bóveda, las funciones especializadas del nervio y de la plementería.[…]. Así, el nuevo cerramiento, de gran ligereza y desprovisto de función resistente, se independiza de la estructura."

. . . . . .

José Fernández Salas. *Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones*. Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid, 19-21 septiembre 1996. p.194.

"Idea del Arte de la Montea. Considerándole en su objeto puede definirse, Arte de construir sólidamente y con elegancia las Bóvedas de los edificios: de aquí se puede inferir que su Teórica debe fundarse sobre la Geometría y la Mecánica, y por otra parte conformarse con las reglas de la bella Arquitectura. En efecto ¿qué importaría á un buen Artista saber executar Bóvedas sin otro mérito que vencer las dificultades si sus obras fueran desaprobasdas por el buen gusto?

La práctica basta á los trabajadores, para quienes la Montea es un Arte poco menos que mecánico, y los conocimientos, que en ellos se deben suponer de la Geometría son bastante superficiales; mas contentarse con esto sería no satisfacer á la mayor parte ni cumplir con el objeto de esta obra, quando para el Arquitecto, que debe poseer con la práctica el conocimiento de los principios sobre que se funda, es el corte de las Piedras un Arte liberal."

. . . . . .

Mr. Simonin. Profesor de Matemáticas. Traducido por Fausto Martinez de la Torre y Josef Asensio. *Tratado elemental de los cortes de Cantería o Arte de Montea.* Imprenta de la Viuda de Josef García. 1795. p 1.

3.3. JUNTA ELÁSTICA

.....

El comienzo de la Edad Media significará la desaparición de la cultura romana y con ello la degradación de sus técnicas constructivas, tanto en relación a los materiales empleados (se abandona el hormigón) como en su concepción. Se pasará al empleo de soluciones apresuradas e inmediatas haciendo necesario el acomodo geométrico y de asientos de las hiladas irregulares de piezas poco labradas mediante la introducción de la junta de mortero, ahora ya de cal.

En la moderna propuesta del constructor gótico, de independizar estructura y cerramiento, no se abandonará esta llaga, que se convertirá en la junta "de goma" [57] de la nueva fábrica elástica capaz de responder activamente ante las alteraciones de las condiciones de carga. En la arquitectura gótica se recuperará de este modo la obtención de forma constructiva debida al acomodo del material.

57
Jacques Heyman. "Estructuras de fábrica". CEHOPU, Instituto Juan de Herrera, Madrid 1995.

En estas primeras etapas, en las que la arquitectura buscará fundamentalmente alzarse y cubrir el espacio entre soportes, tanto la madera como la piedra son incluidos en el objeto construido como elementos preformados en los que el perfil definido en la cantera o la serrería dará lugar a una estandarización en el diseño de las juntas. Los propios órdenes griegos se aplicarán como una traducción literal de la madera a la piedra. La sencilla estereotomía de piedras desbastadas o labradas a escuadra y sus juntas, constituyendo simples planos horizontales o verticales, de la antigüedad egipcia, evolucionará a lo largo de los siglos hasta culminar en la definición de los ingeniosos despieces de piedra de la arquitectura gótica.

Al mismo tiempo, el empleo de piezas conformadas exclusivamente de madera, enlazadas de manera directa

mediante la especialización y modificación de sus bordes, tendrá como referente la arquitectura de los templos orientales y también la de los pueblos medievales nórdicos, utilizándose por estas culturas de manera generalizada desde los primeros tiempos, y llegando su empleo incluso hasta nuestros días.

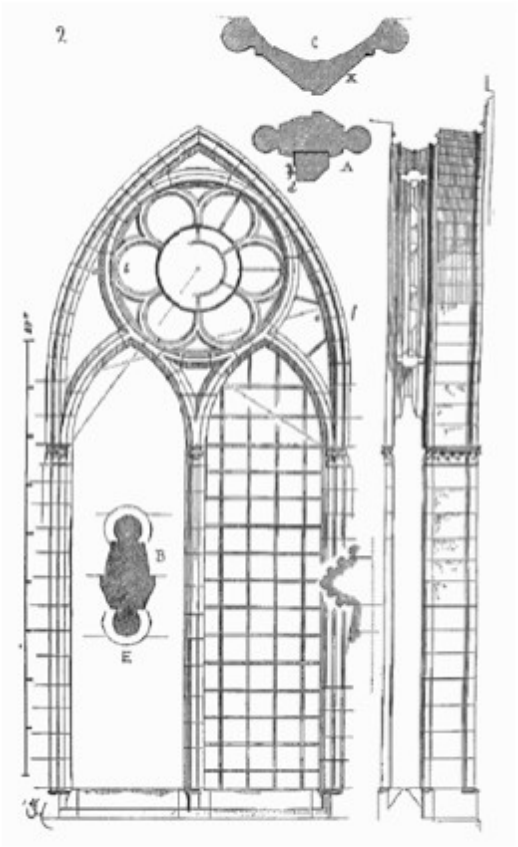
3.3.1. JUNTA ELÁSTICA EN EL MURO CORTINA GÓTICO

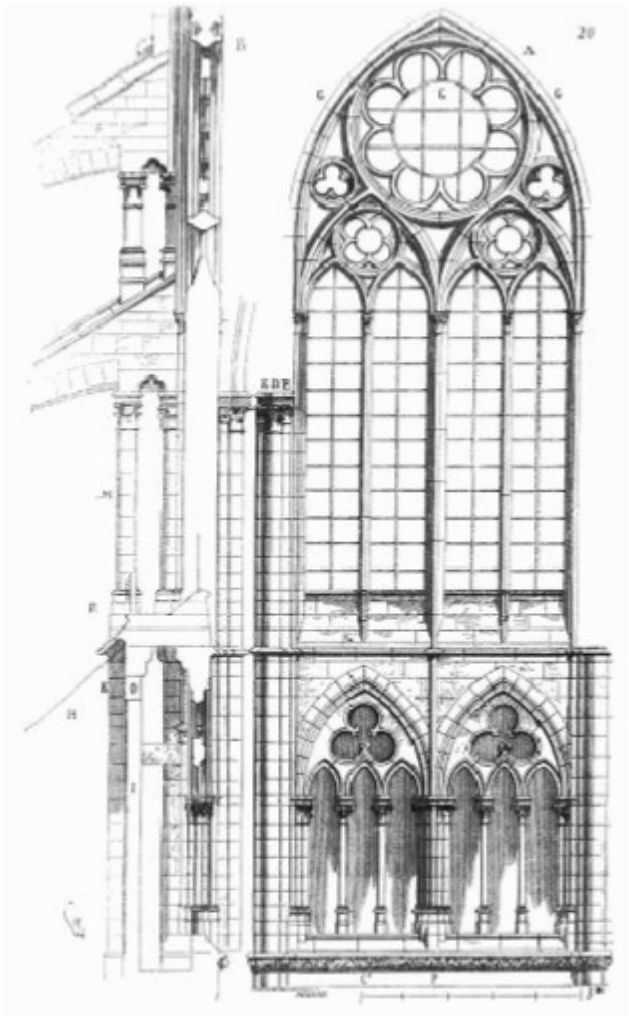
.....

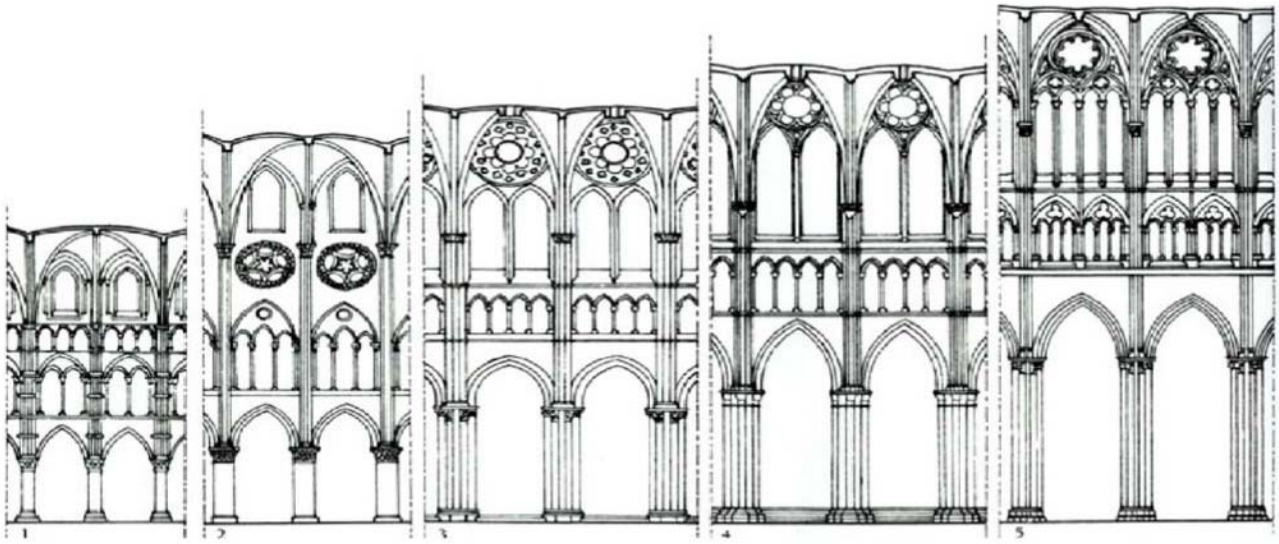
La Catedral de Reims, iniciada en 1211, fue elegida como el lugar donde se realizaba la coronación de los Reyes de Francia, por lo que contaba con una abundante decoración y una extensa producción escultórica.

El taller de Reims introdujo una importante innovación en la tracería de barras de la zona del claristorio. El primer arquitecto de Reims, Jean d'Orbais, rediseñó la superficie de piedra de los rosetones como una serie de barras de piedra mucho más delgadas levantadas dentro del hueco de la ventana, superando así el método más antiguo de construcción de los rosetones que consistían en la conformación de grandes entramados de piedra labrada.

Esta nueva forma de construir hacía hincapié en la naturaleza no portante del muro, con las ventanas funcionando a modo de muro cortina suspendidas entre los pesados conjuntos portantes de pilares y arbotantes. Con estos primeros pasos daba comienzo la construcción moderna.







3.3.1
Catedral de Reims. Catedral de Amiens. Evolución de las Catedrales. Eugène Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle.* 1856.

Izquierda: Catedral de Reims. Vidrieras. 1211-1275. Jean D'Orbais. Derecha: Catedral de Amiens. Vidriera. 1220-1269. Robert de Luzarches. Inferior: Evolución de las Catedrales: Lyon-Paris-Chartres-Reims-Amiens.

3.3.2. JUNTA ELÁSTICA Y LOS ENTRAMADOS DE CUBIERTA

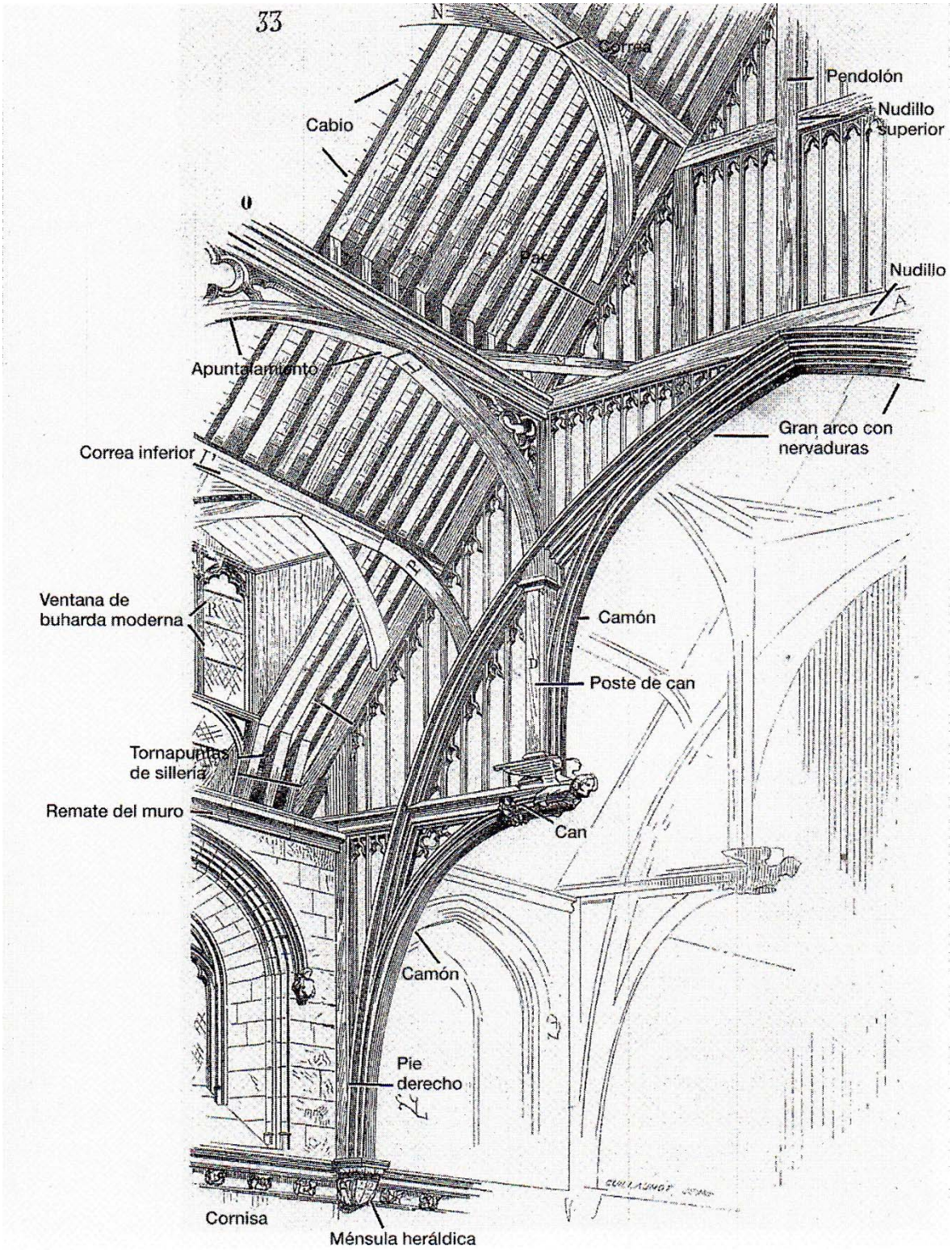
.....

Construida a finales de siglo XIV por Hugh Herland, cabeza de los carpinteros del rey Ricardo II, la cubierta de Westminter Hall representa una de las obras en madera más impecables dentro de la evolución de las estructuras de cubrición de la Edad Media.

La cubierta se levantó en tan solo tres años desde el talado de los árboles que darían forma a su estructura. El salón normando que habría de salvar tenía una luz de casi 21 metros. La estructura de madera que se construyó representa uno de los mejores ejemplos de las cubiertas de pares de la Baja Edad Media. El sistema empleaba como elementos principales correas, una pieza de cumbrera y un apuntalamiento curvado a modo de armazón. La forma final de los pórticos nos puede recordar a la estructura combinada de las iglesias noruegas de pies derechos. Los pares apoyaban en las correas longitudinales sin transmitir prácticamente esfuerzos al muro lo que permitió abrir grandes vanos intermedios en el mismo.

Trece entramados principales se levantaron sobre los muros cada 5,5 metros. Cada uno de ellos estaba fabricado en roble y tenía un peso de unas 600 toneladas. Estos entramados portantes eran capaces de apoyar en ménsulas de piedra dispuestas a media altura del muro gracias a la acción combinada de los pesados montantes verticales o postes de can y del gran arco. Este arco, aunque está formado por piezas conectadas con clavijas, actuaba de manera unitaria transmitiendo la carga vertical de los montates principales y el empuje horizontal que recibe de las piezas horizontales o canes.

Las piezas horizontales principales o canes de los pórticos soportaban importantes esfuerzos de tracción, mientras que el resto de elementos del entramado trabajaban a compresión, restringiendo así en empuje exterior en la base de los pares. El constructor dirigió así las reacciones de la enorme cubierta hacia una zona baja de los muros normandos, donde se podría resistir mejor las fuerzas horizontales, reduciendo el momento de vuelco. De otro modo, se podía haber ocasionado la rotura por tracción de los muros portantes.



3.3.2
Westminter Hall. Hugh Herland. 1393. Eugène Viollet-Le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle. 1856.

La estructura de la cubierta adopta una forma típica de la arquitectura gótica inglesa que utiliza cerchas horizontales para salvar grandes distancias. El techo fue encargado por Ricardo II en 1393 y construido por el carpintero real, Hugh Herland. Es el techo medieval de mayor luz libre en Inglaterra, con unas medidas de 20,7 por 73,2 metros.

3.3.3. JUNTA ELÁSTICA Y LADRILLOS RECUPERADOS

.....

El inicio de la Edad Media supuso el comienzo de un nuevo periodo de búsqueda de soluciones constructivas y de la aplicación de nuevas técnicas en la configuración de los muros. Construidos con núcleos de piedra tosca con revestimiento de bloques o sillares, muy similares en su estructura a sus predecesores romanos, los muros del periodo románico tenderían a ser prácticamente macizos, con estratos articulados con vanos de cabeza redonda en todos los niveles.

Las condiciones del emplazamiento de una construcción permitían en numerosas ocasiones el desarrollo de técnicas constructivas locales. En regiones donde no abundaba la piedra, y no era posible la construcción de muros de sillares, se adoptaría un nuevo material de construcción, que vendría acompañado de sus propias técnicas.

En Saint-Sernin de Toulouse o en Saint Albans en Hertfordshire en Inglaterra, el ladrillo romano reutilizado reemplazaría a la piedra como principal material de construcción.

Pequeño asentamiento romano en sus inicios, Saint Albans pasó pronto a convertirse en la ciudad romana más importante de Inglaterra, con su propio santuario. Fue conocida como Verulamium. Cuando los romanos abandonaron la ciudad, ésta fue ocupada por los sajones.

En el siglo VIII se construyó una abadía y se dedicó a Saint Albans. A partir del siglo XI una nueva ciudad crecería alrededor de la misma.

La torre normanda de ladrillo rojo de la abadía fue construida con materiales reciclados tomados de Verulamium.



3.3.3
Ladrillos romanos reutilizados en un muro de la Catedral de St. Albans. 2019. A J Paxton.

La catedral de St Albans fue construida como iglesia benedictina a finales del siglo XI, aunque ha sufrido muchas modificaciones desde entonces. El albañil normando Robert, que supervisó el trabajo, extrajo ladrillos romanos en forma de tejas de las ruinas del Verulamium romano, que aquí se ven combinados con piedras locales.

3.3.4. JUNTA ELÁSTICA Y LAS BÓVEDAS ENCAMONADAS

.....

Philibert De L'Orme publica en el año 1561 el tratado "Nouvelles inventions pour bastir et à petit frais" en el que plantea una estructura de madera capaz de salvar grandes luces a partir de piezas de pequeña escuadría.

Para la construcción de esta armadura, De L'Órme propone el desarrollo de arcos formados por tablas curvas menores (camones) de 4 pies por 8" y 1" de espesor. Las tablas se colocarían de canto solapadas en planos paralelos contrapeados y se fijarían mediante listones asegurados por clavijas que atravesarían las piezas y que harían coincidir el encuentro de dos tablas consecutivas con el centro de la que está en paralelo con ellas.

La estructura planteada por De L'Órme funcionaba además de manera autoportante, sin la ayuda de ninguna estructura auxiliar.

El método constructivo de las bóvedas encamonadas encontró considerables semejanzas con la técnica constructiva inglesa de construcción de barcos a través de cuadernas dobles empleada en el siglo XVIII. Este sistema solucionaba el problema del aprovechamiento del material descomponiendo la cuaderna en secciones curvas de menor tamaño y por lo tanto más fáciles de obtener y de producir.

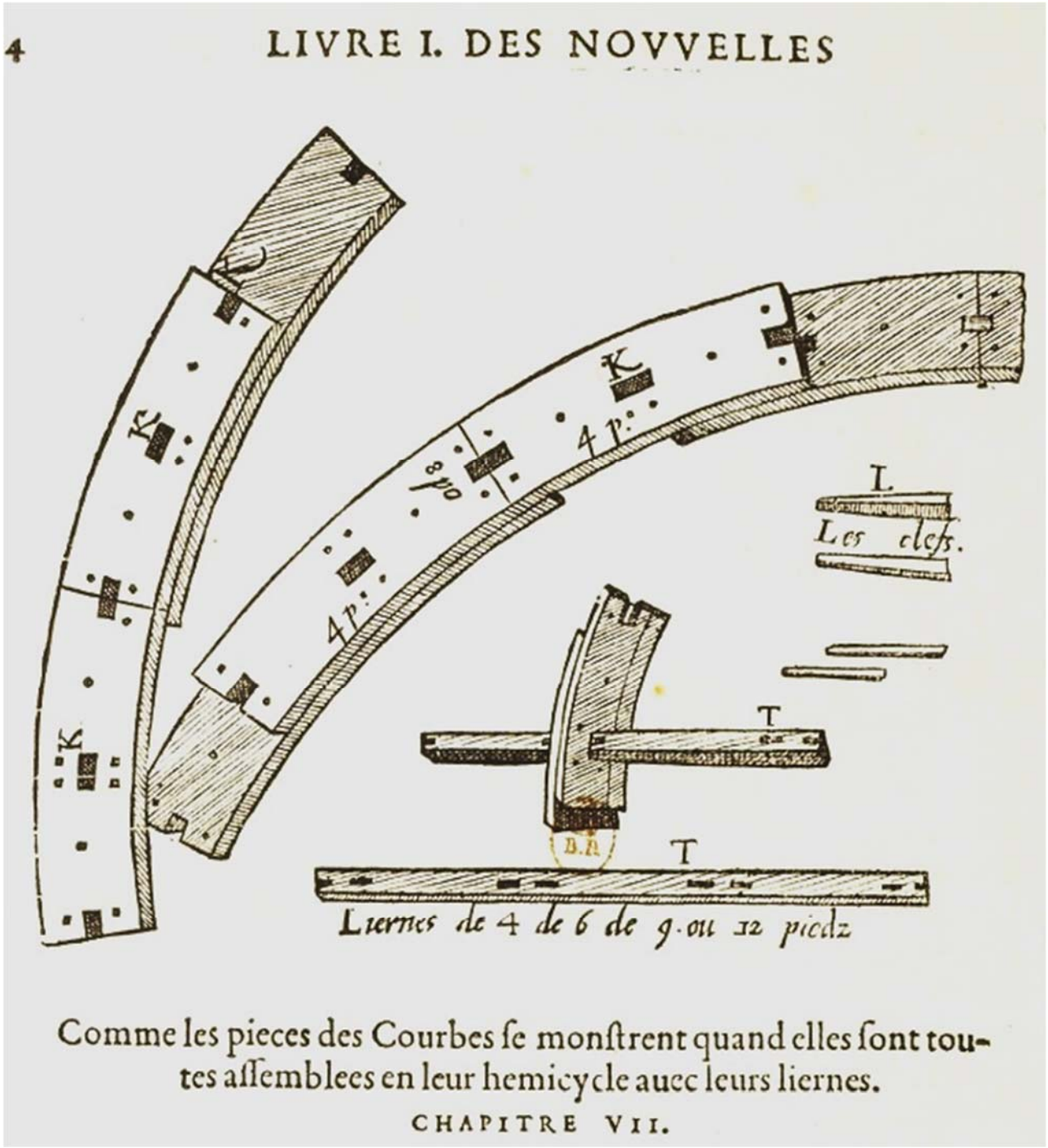
A pesar de su similitud, el proceso de construcción de una bóveda encamonada y de un navío inglés en aquella época no podría haber tenido una clara correlación ya que la estructura gremial del momento incitaba a que los constructores se movieran en un ambiente caracterizado por su celo profesional.

Hace algunos años, Antonio Gaudí y Miralles-Tagliabue realizaron una traslación de los detalles constructivos de las antiguas bóvedas encamonadas al presente.

Gaudí levanta en 1883 la "Nau Gaudí", la primera de sus obras, mediante unos arcos parabólicos construidos cada uno con tres láminas de madera. Cada lámina estará formada por tablas trapezoidales unidas por su testa, siguiendo la línea de esfuerzos de la parábola. Las piezas se unirán al-ternando las líneas extremas y medias en sucesivas capas que estarán fijadas por medio de per-nos.

La estructura planteada por Gaudí se basará en los principios de las bóvedas encamonadas planteados por Philibert De L'Orme, aunque las tablas no tendrán forma curva y en este caso estarán unidas por pernos.

En el Mercat de Santa Caterina, levantado en el año 2003, Miralles-Tagliabue retomaran la idea de las bóvedas encamonadas. En este caso, cada arco o viga curva estará formada por la unión de nueve a trece láminas de madera, y cada lámina presenta un número variable de tablas trapezoidales. Los trapezoides de cada lámina



3.3.4.a
Bóvedas encamonadas. *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits frais*. Philibert De l'Orme. BNF. 1561.

Bovedas encamonadas. Detalles. Philibert De l'Orme. Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits frais. BNF. 1561

se unen por su testa mediante uniones tipo “finger joint”, y las láminas contrapeadas se encolarán y después se lijarán para conformar cada arco.

Sobre la base planteada por Philibert De L’Orme, ambos ejemplos introducirán pequeños avances que les permitirán adaptar las construcciones de las bóvedas a las técnicas del momento.



3.3.4.b
Izq. Nau Gaudí. Antonio Gaudí. 1883. Drcha. Mercado de Santa Caterina. Enric Miralles y Benedetta Tagliabue. 2003. Fotografía: Fermina Garrido.

Estas dos imágenes se corresponden con detalles de uniones de dos estructuras de madera, el primero a la de la nave de Mataró, «la Nau Gaudí» de Antoni Gaudí, recientemente rehabilitada por Manuel Brullet Tena y Alfonso de Luna y el segundo a los arcos del mercado de Santa Caterina proyectados por Enric Miralles y Benedetta Tagliabue. Ambas propuestas realizadas suponen una traslación de detalles constructivos, desde la bóvedas encamonadas de Philippe de L'Orme al presente.

3. 4. POSTE Y DINTEL

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Poste:

1. m. Madero, piedra o columna colocada verticalmente para servir de apoyo o de señal.

[…]

Dintel:

1. m. Pieza horizontal superior de puertas, ventanas y otros huecos, apoyada en sus extremos sobre las jambas y destinada a soportar cargas.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Poste:

Del lat. *postis* 'jamba de una puerta', 'batiente de una puerta', 'puntal o pilar'.

Se considera que *postis* se origina en *por-sti-*. El prefijo *por-* es una arcaica forma alternante de *pro-* (hacia adelante, delante). El elemento *–sti-* no es más que la raíz del verbo *stare* (estar en pie, estar parado en un sitio).

Dintel:

De *lintel*, voz que viene del latín *limitellus*, derivación cruzada de *liman, liminis* y *limes, limitis*. En latín, *limen* corresponde a umbral, puerta, entrada, principio y *limes* a sendero entre dos campos, límite, muralla.

'Postel y dintel' se emplea en esta tesis para referirse al sistema constructivo de madera denominado internacionalmente como 'post and beam' que implica el uso de pesados elementos independientes de madera, verticales y horizontales, que se enlazan para crear una estructura.

.....

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.6.

"[…] primero, en Japón, en donde pasé mi primera infancia. Recuerdo la sensación de que la tierra y los recursos eran escasos, pero también la belleza de las viviendas tradicionales japonesas, con sus paredes de papel y sus jardines en terrazas, sus tibios futones y el vapor de los baños. […] de nuevo me chocó lo simple y elegante que puede llegar a ser el buen diseño, y cuán adaptado a lo local."

"In constrast with concrete buildings for instance, wooden structures are made up of thousands of different components. In a timber building, the basic elements – roof, walls and foundation – are divided into smaller parts that articulate the building according to the scale of the material. The interfaces of these components and the relationships between them are an important part of the building´s architectural character. The way in which one board meets another, the particular spacing of cladding panels on a facade, or how a beam is connected to a column together develop the character of the building."

. . . . . .

Pekka Heikkinen. Professor of Wood Construction. Aalto University. *The challenge of wood architecture*. Ja 89 The japan architect. Wooden architecture. Spring 2013.

"After having seen the good and serviceable carpentry, the perfect joints and complex mortises, done by good Japanese workmen, one is astonished to find that they do their work without the aid of certain appliances considered indispensable by similar craftsmen in our country. They have no bench, no vise, no spirit, and no bit-stock; […]"

. . . . . .

Edward S. Morse. *Japanese homes and their surroundings*. Tuttle Publishing 1973. p. 37.

"Then what does the Shinto shrine signify? Coording to the interpretation of modern times, it means a hallowed structure consecrated to the *Kami* (gods) who are revered and worshipped by high and low without distinction of sex. And it is erected everywhere throughtout the Japanese Empire as a mark to enlighten the thoughts of the nation, to refine the minds of the masses, and to unite the national spirits, not to say of the various other objects to make the people happy and prosperous."

. . . . . .

Kawase Hasui. *Shinto and its Architecture*. Tokyo News Service 1936.

"Traditional Japanese domestic buildings are built using a primary frame of major timber members placed according to the structural requirements of the roof and walls. A secondary frame of timber members is then constructed in accordance with the spatial requirements of the occupants. This secondary frame may be disassembled and remodeled to suit changes in the occupants' requirements, without affecting the primary structure, and without the wastage of building materials that other techniques produce."

. . . . . .

Teiji Itoh., Traditional Domestic Architecture of Japan. Weatherhill/Heibonsha, New York 1972 p.43.

"Japanese wooden architecture is a complete architectural system in which the expansion, remodelling, removal and reconstruction of buildings is posible according to life styles.

The technologies applied in these examples show how mechanical jointing techniques and a hierarchy of structure allows for the efficient disassembly of members for reuse."

. . . . . .

Kiyonori Kikutake, On the Notion of Replaceability', World Architecture, vol. 33, 1995, , p 27

3.4. POSTE Y DINTEL

.....

Los constructores de la Europa continental hicieron enormes esfuerzos para superar los difíciles comienzos de la Edad Media. Inicialmente se aferraron a las tradiciones romanas para asumir después la escasez de recursos, lo que daría origen a un nuevo arte de construir.

Los pueblos de las regiones nórdicas desarrollaron durante esa época sus técnicas de construcción en madera de manera espectacular. Prueba de ello son los imponentes barcos construidos por los vikingos que desde el siglo VIII recorrieron las gélidas aguas del Atlántico Norte en largas expediciones organizadas por los jarls noruegos llegando a colonizar la costa septentrional de Noruega y otros territorios hasta entonces desconocidos.

En el ámbito de la arquitectura [58], el método de construcción tradicional en madera basado en la superposición horizontal de piezas enterizas formando paredes macizas de madera unidas en las esquinas mediante ensambles cajeados sería superado para dar paso en torno al siglo X a un nuevo sistema que se emplearía en la construcción de iglesias.

58
G. Bugge, C. Norborg-Schulz. Stav og Laft i Norge. Norske Arkitekters Landsforbund, 1969.

Inicialmente se utilizarían muros de medios troncos hincados unos junto a otros en el suelo y atados en cabeza para la construcción de los templos, pero el modelo evolucionaría rápidamente hasta obtener una estructura formada por una combinación de un sistema adintelado y uno de armazón que sería capaz de responder a las duras condiciones del entorno y también al paso del tiempo. La intención era obtener unas construcciones fuertes y duraderas, que pudiera dar respuesta a las situaciones extremas que se pudieran originar.

Por su parte, la arquitectura en madera desarrollada en la misma época al otro lado del mundo atendería a unos principios muy distintos, dando como resultado unos sistemas diferentes.

El tradicional acercamiento japonés al entorno físico construido guarda una estrecha relación con los conceptos de Muji (impermanencia) y Mono no Aware (fuerte y amable sensibilidad hacia lo efímero), que se fundamentan en la conciencia del cambio continuo de la vida, de los fenómenos naturales y del universo. El hombre existe o vive en comunión con la naturaleza y la casa es para él solo un refugio temporal. Si se derrumba, debe poder montarse de nuevo fácilmente. Esto, junto con las condiciones que ofrece el entorno, dan lugar a las construcciones japonesas. Los materiales empleados, fundamentalmente de origen vegetal –madera, paja, bambú–, son trabajados cuidadosamente por expertos artesanos obteniendo elementos relativamente ligeros y fáciles de manejar, dando lugar a arquitecturas reversibles de aparentemente sencillo montaje.

La arquitectura japonesa tradicional siempre ha sido una arquitectura que emplea básicamente sistemas de poste y dintel realizados con estructuras flexibles de soportes y vigas de madera enlazados mediante juntas de madera, a los que se añaden paredes ligeras no portantes, móviles o fijas, que llegan a ser incluso de papel. Los elementos diagonales son una excepción, y la estabilización del conjunto se confía a los extremos de las piezas. Las juntas de una estructura tradicional permitían su ensamblaje sin utilizar clavos, lo que también posibilitaba su desmontaje periódico.

De acuerdo con el pensamiento occidental, las construcciones tradicionales japonesas serían como castillos de naipes, que podrían venirse abajo bajo una moderada brisa.

3.4.1. POSTE Y DINTEL JUNTO CON ARMAZÓN

.....

Entre los siglos X y XIV se levantaron en Noruega numerosas "stavkirker" o iglesias medievales de pies derechos. De proporciones básicamente humanas, se caracterizan por su técnica de construcción, la *stavverk*.

El cristianismo llegaría tarde a Noruega, a mediados del siglo X, de la mano del rey Haakon el Bueno, quien levantaría tres iglesias en Møre que pronto serían incendiadas. El encuentro con las antiguas formas culturales preexistentes continuó causando tensiones y el proceso de cristianización se alargó durante un largo periodo de tiempo. Hasta la segunda mitad del siglo XI no se consolidaría la organización eclesiástica en Noruega con el establecimiento de tres diócesis (Trondheim, Bergen y Oslo), y el inicio de una amplia campaña de construcción de "stavkirker" o iglesias de pies derechos que, a lo largo de tres siglos, alcanzarían el millar de ejemplares, extendiéndose por todo el territorio desde el área norte de Bergen hasta la costa sur de Nidaros, llegando incluso hasta las regiones de Suecia o Dinamarca.

A partir de las primeras iglesias misioneras del siglo X de nave y presbiterio, realizadas mediante muros de medios troncos longitudinales hincados unos junto a otros en el suelo y atados en cabeza, el modelo evolucionó pasando a construirse ya en el siglo XI clavando en el terreno únicamente los soportes de las esquinas y colocando vigas horizontales sobre las que descansarían los muros de tablazón. En el siglo XII se desarrolla el esquema de nave central elevada mediante un entramado de pies derechos interiores y ala perimetral circundante más baja, dando lugar a las iglesias de tipo basilical que serían levantadas enteramente sobre el nivel del suelo evitando el contacto de la madera con el terreno.

La estructura vertical principal que da nombre a estas iglesias se forma con gruesos postes circulares de madera de hasta 11 metros de altura y de 30 a 40 centímetros de diámetro sostenidos mediante espigas a un marco cuadrado de grandes vigas situadas sobre hiladas de piedra. Estas vigas se cruzan entre sí y se unen por medio de ensambles a media madera formando un rígido armazón rectangular con sus lados prolongados entre 1 y 2 metros más allá del punto de intersección. Sobre sus extremos dentados encajan las soleras que sostienen los muros exteriores.

Otras dos vigas longitudinales menores se disponen en la parte superior de los pies derechos formando una nueva solera que será la base del tejado. Para estabilizar el compartimento de la nave central se disponen dinteles entre 1,25 y 2 metros por debajo del remate de los pies derechos, y bajo ellos horquillas formando arquerías. En torno al año 1200 comienzan a colocarse entre los pies derechos cruces de San Andrés que contribuyen a estabilizar horizontalmente el conjunto. Tanto las horquillas como las cruces están unidas a los pies derechos y a las vigas horizontales mediante espigas cilíndricas de 25 milímetros de diámetro.

Ensamblado el conjunto de cada pared en el suelo, que incluía habitualmente de 3 a 5 pies derechos, se levantaba con ayuda de puntales como si de un armazón de una casa de madera se tratara. Para facilitar la colocación de los pies derechos en las cajas practicadas en las soleras, se afilaban las espigas base de los mismos permitiendo así su fácil deslizamiento. Levantados los cuatro lados del compartimento se reforzaban los ángulos mediante escuadras horizontales situadas a la altura de los dinteles.

Los pares del tejado, que llegaban a alcanzar una pendiente de 56º, se enlazaban mediante dos vigas dispuestas en forma de tijeras con una elevación de 1/1. Un nudillo conecta en el mismo plano tanto los pares como las vigas en tijera casi en su punto medio. Aunque el conjunto pueda parecer una auténtica estructura de armadura alemana en la que cada elemento está sometido a una fuerza de tracción o de compresión, pero nunca ambas a la vez, la armadura de cubierta de una iglesia noruega de pies derechos no funciona como tal. El pendolón no existe, y aparece en su lugar el nudillo que redistribuye las fuerzas del conjunto minimizando las componentes horizontales de las fuerzas transmitidas a los muros. El resultado es una estructura de sección casi parabólica. Elementos secundarios paralelos al caballete y diagonales incorporadas en el plano del tejado unen los pares entre sí. La cubierta se cierra mediante dos series de tableros paralelos al caballete y unidos con clavos de madera. Sobre éstos aparecen duelas o tablas sin labrar colocadas a modo de escamas.

A continuación, se añadían las alas. Los pares de su cubierta están unidos a los pies derechos mediante espigas de madera, descansando en su extremo inferior sobre un rebaje de la solera superior del muro perimetral. Bajo los pares, unas tornapuntas unidas con espigas tanto al muro exterior como a los pies derechos interiores transmiten los esfuerzos transversales. Abrazaderas curvas colocadas entre las tornapuntas se enlazan con la solera superior del muro perimetral proporcionando al conjunto una gran estabilidad ante las fuerzas horizontales paralelas al eje de la nave.

Cruces de madera arriostran los muros exteriores. Sus soleras superior e inferior se acanalaban para recibir las espigas de los extremos de los tableros verticales que forman la tablazón de los muros. Las ranuras entre las tablas se cerraban con junquillos.

La incorporación en el diseño de sencillas prácticas constructivas ha permitido conservar en buen estado los elementos de estas construcciones e impedir su pronto desgaste [59]. Para evitar la acumulación en el dintel y en las soleras del agua que resbala por la tablazón vertical de la cara exterior de los muros, los constructores practicaron pequeños drenajes por tramos a lo largo de las piezas longitudinales permitiendo la salida del agua. Además de esto, las bases de los pies derechos se envolvieron con unas cubiertas de madera reemplazables, una pequeña galería perimetral se añadió en algunos casos para resguardar la parte baja del edificio, y se procedió a la protección continuada de las iglesias con brea. Señalar también que el

59
Petter Aune, Ronald. L. Sack, Arne Selberg. Investigación y Ciencia , 85 (octubre 1983) 74-83.

vaciado, entallado y modelado de las cajas, espigas y demás elementos de ensamblaje en los detalles de unión que encontramos en estas iglesias fueron realizados con gran precisión. La intención era obtener una construcción fuerte y duradera, en la que sus elementos estaban claramente sobredimensionados para dar respuesta a las situaciones extremas que se pudieran originar.

La mayoría de estas iglesias se levantaron en lugares elevados, orientadas siempre en dirección este-oeste con su cabecera hacia el este. Quedaban por tanto expuestas a las duras condiciones climáticas del lugar: fuertes vientos, grandes nevadas y abundantes lluvias. La combinación en estas construcciones de una estructura adintelada a la que se añadían sistemas de armaduras más o menos modificadas, dieron en este contexto un resultado de lo más eficaz [60].

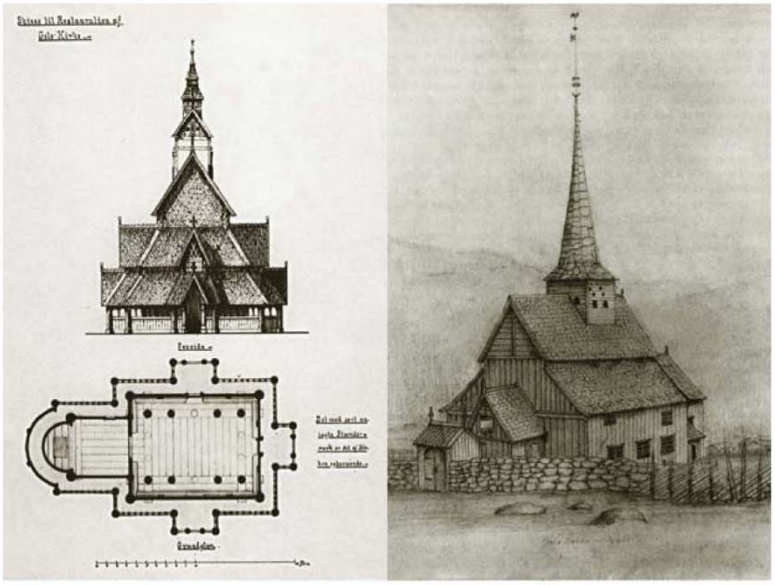
La resistencia a los empujes laterales en una iglesia de pies derechos se logra gracias a la respuesta conjunta de toda la sección transversal que permite llevar los empujes de un lado del edificio a la base del lado contrario. Se trata de una respuesta estructural obtenida gracias a la disposición del conjunto según el sistema conocido como tubo dentro de tubo. Este sistema lo encontramos hoy aplicado en construcciones de mayor escala, torres de gran altura cuya estructura necesita absorber grandes esfuerzos horizontales de viento y sismo para garantizar su estabilidad. Además, la existencia de las alas en estas iglesias permite bajar el centro de gravedad del conjunto y aumentar la resistencia frente al par de vuelco. En este caso las alas presentan una función estabilizadora que podríamos asemejar con la obtenida, gracias a su masa, por los arbotantes de las catedrales góticas.

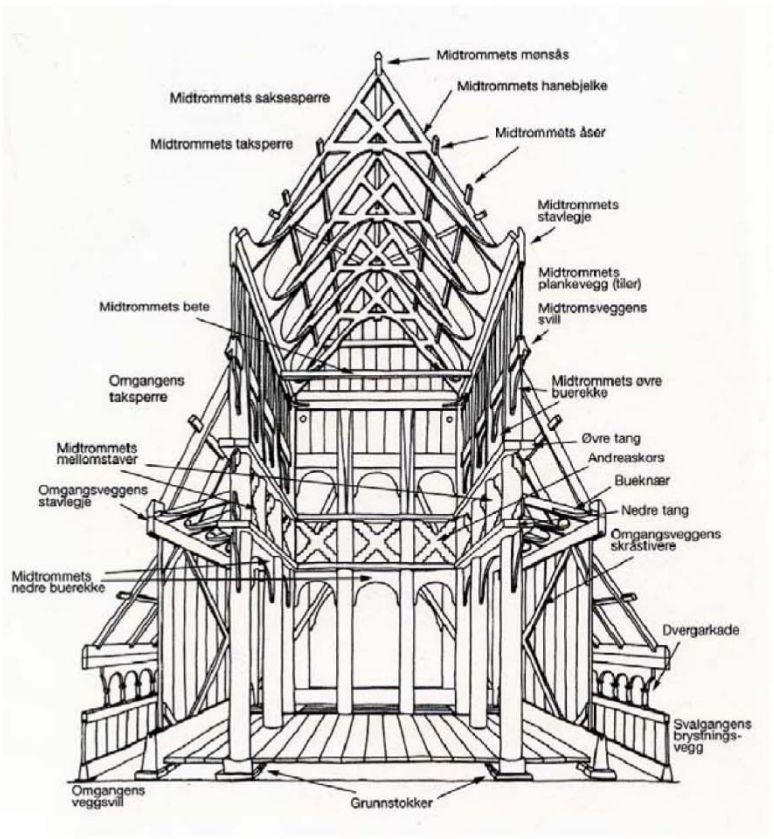
La disponibilidad y la adecuada gestión y manipulación de los recursos locales proporcionaron a los antiguos constructores noruegos materiales de una excelente calidad, muy superior a la que podemos encontrar en la actualidad. Una vez seleccionados los árboles más rectos y esbeltos, se cortaban sus ramas y los troncos enraizados se dejaban secar durante varios años. Posteriormente se talaban y se cortaban los elementos estructurales de mayor dimensión que formarían el esqueleto de las iglesias. Eliminada la albura, el duramen, más duro y consistente, se empleaba para los pies derechos. El pino albar, abundante en Noruega, se utilizó para los elementos estructurales. Las piezas curvas eran de abedul, y las espigas y otros elementos de ensamble se realizaron con madera de enebro, de gran dureza y flexibilidad.

Los densos bosques del entorno fueron capaces en este caso de abastecer a los constructores de piezas completas con la dimensión y la longitud adecuadas para su empleo en este tipo de edificaciones. Superada la época de construcción de estas iglesias, no pasaría mucho tiempo hasta que la explotación desmedida de los bosques del centro y norte de Europa diera origen a un grave problema de escasez de madera de gran longitud. Ya en el siglo XVI se plantearán nuevas soluciones, como las basadas en el diseño de cerchas y celosías, o las apoyadas en sistemas de ensamblaje de piezas de madera menores capaces de salvar grandes luces [61].

60
Petter Aune, Ronald. L. Sack, Arne Selberg. Investigación y Ciencia , 85 (octubre 1983) p. 80.

61
Robert Mark. *Tecnología Arquitectónica hasta la revolución científica*. Ediciones Akal, 2002.





3.4.1.a
Arriba:Iglesia de Gol.
Abajo: Iglesia de Borgund. Stavkirke. S.XII.

La Iglesia de Gol es una iglesia de madera medieval construida entre los siglos XII y XIII en el pequeño pueblo de Gol, provincia de Buskerud, en Noruega. En enero de 1884 la iglesia fue desmontada. El arquitecto encargado de los planos y el inventario había sido Thorolf Prytz. En marzo, las piezas fueron transportadas en trineo hasta la estación de ferrocarril más cercana. Las piezas llegaron en tren hasta Bygdoy sin ningún daño. En la reconstrucción participaron el arquitecto Waldemar Hansteen y el maestro albañil Torsten Torstensen. La iglesia quedó instalada en el verano de 1885 en el museo del pueblo noruego donde permanece en la actualidad.

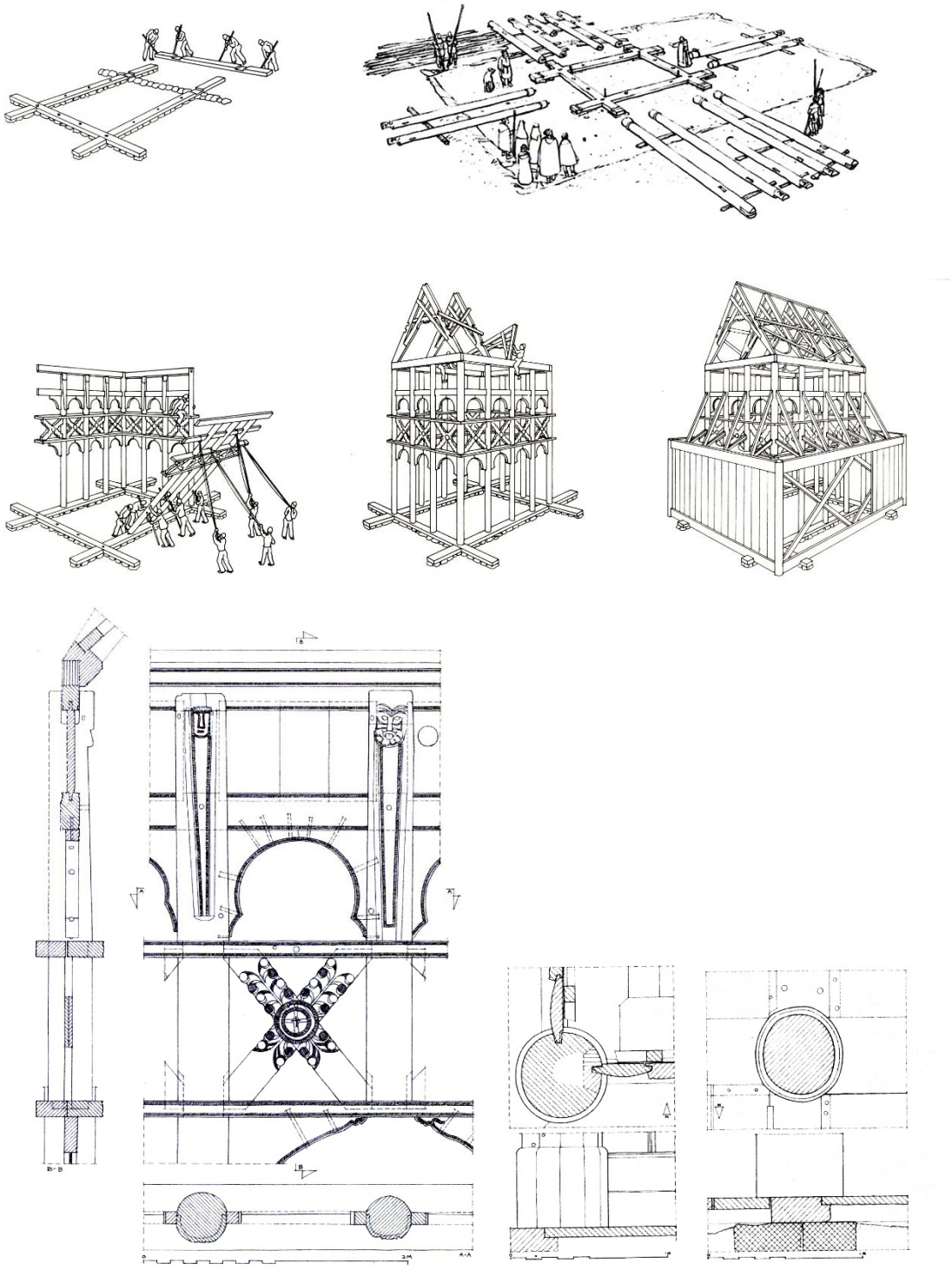
Para proceder a su conservación en el siglo XIX varios de estos templos medievales fueron desmantelados por completo, transportados y reconstruidos de nuevo en otro lugar; como son los casos de la iglesia de Vang en Valdres, la de Gol en Buskerud, o la de Fantoft en Fortun.

De la atenta lectura de estas pequeñas construcciones de madera se desprenden unas cuantas lecciones. La evolución de los sistemas constructivos empleados para el levantamiento de estos templos fue rápida y continua. Los constructores medievales noruegos, al igual que aquellos constructores románicos cuya práctica establecería las bases de la nueva construcción moderna, no dudarían en poner al servicio del edificio toda su habilidad e ingenio. Avanzaron siempre sobre sus propios errores, adaptando y mejorando sus técnicas, basándose en el método experimental más que en el seguimiento de la tradición antigua.

Resultaría irracional y disparatado pretender construir hoy como se hacía en la Edad Media, pero hemos de reconocer que la experiencia adquirida por los constructores de aquel tiempo puede sernos francamente útil, en tanto que tales maestros fueron grandes innovadores. Si a esto añadimos el extremo cuidado tanto en el diseño como en la ejecución en seco de todos los ensambles de sus construcciones, el resultado no podía ser menos que excepcional.

Erigidas para perdurar a lo largo del tiempo, la posibilidad de su desmontaje ha permitido su recuperación y conservación. Son estructuras permanentes, cuyo diseño original contiene de manera más o menos pretendida un alto potencial de desmontaje que ha sido empleado puntualmente para la sustitución de piezas dañadas, pero que además ha permitido su total desmontado, traslado y reconstrucción en otro contexto.

La lección para el presente, cuando los sistemas constructivos desmontables y reutilizables parecen los más sostenibles, es que cuando dichos sistemas están bien pensados y ejecutados no suponen una merma de solidez y durabilidad, sino todo lo contrario.



3.4.1.b
Proceso de montaje de una iglesia de pies derechos.Peter Aune, Ronald L. Sack, Arne Selberg. Investigación y Ciencia nº85, oct 1983. p.7

La construcción de una iglesia basilical de pies derechos se realizaba con métodos similares a los empleados para erigir una casa prefabricada. Las soleras se colocaban sobre un lecho de losas de piedra unidas por mortero. Sobre ellas se levantaban las hileras de soportes del espacio central con ayuda de puntales. Mediante las arquerías se unían en los ángulos los grupos de soportes. Tras levantar los cuatro frentes se colocaba el tejado. Después se añadían las alas. El dibujo está basado en la Iglesia de Borgund del s. XII.

3.4.2. POSTE Y DINTEL EN LA RENOVACIÓN

.....

En la costa oriental de la península de Kii, en la prefectura de Mie en la zona central de Japón, al sudeste de los antiguos centros de gobierno en la cuenca del clan Yamato, se encuentra un asentamiento formado por más de cien construcciones que periódicamente son desmontadas, trasladadas y reconstruidas de nuevo junto a su emplazamiento original. Se trata de Ise Jingu, principal lugar de culto del sintoísmo en Japón, y objeto de peregrinación desde la Edad Media hasta nuestros días.

El área está dominada por una estrecha y verde llanura rodeada de densos bosques al pie de las montañas. Entorno de clima cálido bañado por las corrientes del Pacífico, el sol brilla con fuerza incluso en pleno invierno. El río Isuzu, de aguas rápidas, cruza la zona desde el sur. Dos templos principales, Naiku y Geku, cuyos orígenes se remontan a los siglos IV y V, dan origen a todo el asentamiento. Además de los dos santuarios principales, otros catorce santuarios auxiliares (*bekku*) y ciento nueve santuarios menores de distintas categorías (*sessha, massha* y *sokansha*) aparecen distribuidos por el complejo.

El imponente entorno natural domina la zona. Una red de caminos se dispone sobre el medio estableciendo los flujos de conexión del asentamiento. Cedros (*sugi*) de hasta un centenar de metros de altura y zelkovas (*keyaki*) envuelven al visitante en su subida hacia los santuarios, gruesas capas de musgo cubren las rocas que se encuentran en el recorrido y el sonido de corrientes de agua acompañan al caminante en cada paso. En estos árboles, rocas y pequeñas cascadas es donde viven los dioses (*kami*) según la creencia ancestral animista.

En la práctica tradicional sintoísta, basada en la adoración de los lugares naturales elegidos por los dioses en su descenso a la tierra, las construcciones pasan a ser en muchas ocasiones estructuras efímeras levantadas únicamente para ofrecer un cobijo temporal a los dioses como signo de gratitud por su existencia. La arquitectura de las civilizaciones occidentales evolucionó alejándose de la fragilidad de lo humano y de su conexión con la naturaleza. La naturaleza había sido creada para el beneficio del hombre y debía inclinarse ante las necesidades de éste [62]. Frente a esto, el sintoísmo y el budismo que se desarrollaron en Japón defienden una actitud muy diferente. La vida tiene el mismo valor que la muerte. El hombre es parte de la naturaleza, nunca superior a ella. La entidad espiritual de lo que nos rodea es lo que debe ser preservado, y no su apariencia física. A diferencia de las sólidas e imponentes estructuras de piedra de las catedrales medievales levantadas en Europa, los templos construidos en Ise no están hechos para perdurar.

La práctica totalidad de los edificios en Ise Jingu están construidos de la misma manera. Sus formas y dimensiones son el reflejo de la arquitectura pagana japonesa del siglo VII, y se derivan de las estructuras de los primitivos almacenes de arroz que se construyeron desde tiempos protohistóricos en las regiones agrícolas de Asia. El

62
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas.* Ed. Mc Graw Hill 2005. Prólogo

aspecto de estas estructuras guarda un gran parecido con los hórreos, paneras y espigueiros que se pueden encontrar esparcidos por la costa Atlántica, y también con otras construcciones dedicadas al almacenamiento de alimentos repartidas por Europa y África.

Su configuración responde de manera genérica a la de grandes cajas colocadas sobre pilotes lo que además les confiere su singular condición de objetos muebles, considerando objeto mueble como todo aquel que dada su naturaleza puede ser trasladado de un lugar a otro conservando su integridad utilizando su propia fuerza o bien una fuerza externa. Las construcciones de Ise adoptan estos modelos primitivos y austeros para albergar el contenido sagrado en su interior del mismo modo que los antiguos almacenes protegían las cosechas.

Se trata de pequeñas construcciones sobre elevadas sobre el terreno, con vigas y pilares de madera, cerramiento de entablado, y cubierta a dos aguas a 45^0 acabada con haces de paja cuidadosamente rasurada en los aleros (*kaya-buki*) en los santuarios principales, o simplemente con tableros de madera (*ita-buki*) en el resto de santuarios menores. Realizadas con exquisita atención y delicadeza, guardan impecables detalles. La estructura de sus cubiertas no apoya inicialmente sobre la estructura vertical de soportes como cabría esperar, sino que descansa sobre el entablado horizontal del cerramiento, de modo que, cuando las tablas se contraen debido al secado de la madera en dirección perpendicular a sus fibras, la cubierta desciende sobre las tablas cerrando la junta abierta. Un pequeño hueco dejado en la cabeza de los soportes que permite este movimiento.

En el caso del santuario Naiku, un corredor de metro y medio de ancho elevado unos dos metros sobre el suelo rodea un espacio central de unos 5 metros de ancho por 11 de largo cuya estructura principal está formada por diez soportes de madera de sección circular que apoyan en el terreno. Los extremos de la cumbrera de la cubierta de este espacio rectangular descansan sobre otros dos pilares exentos (*munamochibashira*) colocados en los hastiales. Estos soportes son los mayores componentes de estas construcciones, con un diámetro de 76 centímetros y una longitud que supera los 10 metros. Una serie de troncos ligeramente más estrechos en sus extremos que en su centro (*katsuogi*), diez en el caso de Naiku, se colocan sobre la cumbrera añadiendo más peso sobre la cubierta.

El santuario exterior Geku, así como el resto de los santuarios del complejo, presentan un número inferior de *katsuogi*, indicando de este modo la jerarquía existente entre las distintas las construcciones.

El material empleado en todas ellas ha sido tradicionalmente el ciprés japonés (*Hinoki*) sin tratar obtenido del área forestal que rodea el santuario. La sobre explotación de los bosques de la zona provocó que a partir del siglo XIII la madera fuera traída de regiones cada vez más alejadas del santuario, como el valle de Kiso, entre Gifu y Nagano. Un programa de reforestación iniciado en 1926 pretendía que la

madera pudiera ser suministrada de nuevo localmente. 7.000 hectáreas de bosque fueron puestas en aquel momento directamente bajo la gestión del Santuario.

Cada templete o construcción que forma parte de Ise Jingu cuenta con dos solares colindantes iguales entre sí. Como si se tratara de una imagen sagrada de los ciclos de decadencia y renovación de la naturaleza, desde finales del siglo VII, con una importante interrupción que duraría 123 años causada por la guerra civil que tuvo lugar durante el periodo Sengoku a finales del siglo XV, los santuarios principales y los santuarios menores del complejo son reconstruidos en sus parcelas adyacentes cada veinte años. La primera reconstrucción se completó en el año 690, y la más reciente ha tenido lugar en el año 2013.

El ritual sagrado de renovación, llamado Shikinen-Sengu, comprende el levantamiento de un templo nuevo, el traslado de las imágenes sagradas en una ceremonia nocturna, y el desmantelamiento de la construcción original poco tiempo después. Encontramos otras razones que también dan sentido a esta reconstrucción periódica: la naturaleza efímera de los materiales empleados en la construcción de los templos, madera y paja, que permanecen expuestos durante largo tiempo, provoca su deterioro y su pronta pudrición, exigiendo su reemplazamiento. Por otro lado, y como consecuencia de la asociación del estado con la renovación periódica de Ise, la reconstrucción ritual ha sido indispensable para la consolidación y el reconocimiento de la autoridad imperial de cada momento.

Tras el cuidadoso desmontaje de los santuarios antiguos, las valiosas piezas de madera que formaron parte del templo no se eliminan, sino que son reutilizadas, cerrando así su ciclo de vida. En las reutilizaciones el destino o tipo de pieza cambia: los pilares extremos *munamochibashira* que soportan la cumbrera del santuario Naiku son empleados más tarde en la reconstrucción de las jambas del *torii* o portal exterior de acceso al recinto sagrado de Naiku junto al puente Uji sobre el Río Isuzu, y, tras veinte años pasan a formar parte, con una dimensión sensiblemente menor, de los postes sagrados del camino de peregrinación de Kuwana; del mismo modo, los *munamochibashira* del santuario de Geku serán los soportes del *torii* o portal de Geku en su segunda reutilización y, posteriormente, los postes del camino sagrado de Seki; la casa del tesoro Higashi-Hoden situada en el lado este del santuario Geku, es desmontada y trasladada a la isla de Shinojima para ser levantada varios meses después como Shinmei-sha, y veinte años más tarde como Main Hall en Hachioji-sha, e incluso después la madera es reutilizada de nuevo en la construcción de otros dieciocho pequeños templos.

Así, las piezas procedentes de esta deconstrucción sistemática se distribuyen a otros santuarios de la región. Un total de ciento sesenta y nueve santuarios recibieron madera de Ise después de la renovación de 1993. Así, la madera es usada en estos templos durante un periodo de ochenta años en total. Después de la tercera reutilización, la madera pierde su valor sagrado y pasa a emplearse como material común de construcción.

El uso de recursos y energía empleados en cada reconstrucción periódica en el complejo de Ise puede resultar ciertamente desproporcionado, más aún si consideramos el corto periodo de tiempo en que las piezas de madera sirven a un único edificio y el claro sobre dimensionado de muchos de los elementos que forman las distintas construcciones. Pero al mismo tiempo encontramos en este ritual de renovación uno de los factores clave del ahorro energético y de recursos en edificación: los edificios son desmontados y sus componentes reutilizados, transformados y montados de nuevo en nuevas combinaciones, lo que conlleva no sólo la recuperación de los materiales en sí mismos, sino también la de la energía que contienen.

De este modo, los edificios existentes pasan a ser de manera periódica fuente de materia prima para otras construcciones, sustituyendo la obtención de recursos del medio ambiente natural.

En el año 1929 talleres permanentes se establecieron en Ise Jingu. Son los llamados Yamada Kosaku-jo o lugar de los artesanos y es allí donde se corta, seca y trabaja la madera para la renovación de las construcciones sagradas. También allí se modifican las piezas de madera recuperadas que serán integradas nuevamente en el proceso.

Todo está integrado en una única entidad, desde la gestión del bosque a través de la tala y el corte hasta la construcción. Este es quizás el único lugar en Japón donde ocurre esto. Los talleres cuentan con unos veintiocho carpinteros fijos en plantilla, llegando a tener más de cien en sus momentos finales de más trabajo. Cada proceso de renovación dura alrededor de diez años.

Para cada una de las renovaciones, en una ceremonia inicial en presencia del emperador, el maestro carpintero selecciona los árboles del bosque antes de su tala indicando sobre cada uno de ellos su destino final. Él es quién mejor conoce las condiciones que debe cumplir cada uno de los elementos individuales de la construcción, que deberán de proceder de un tronco especialmente adecuado para su función. Además, según la creencia ancestral animista japonesa cada árbol posee un alma, y cada vez que un carpintero ordena talar un árbol adquiere un compromiso inexorable con la naturaleza. La naturaleza exige al hombre una compensación por su coexistencia. El carpintero debe proporcionar al árbol un uso que asegure su permanencia, preferiblemente mediante su transformación en un objeto de extraordinaria belleza. Solo manteniendo esta promesa el carpintero paga su deuda con la naturaleza.

Una vez realizado el sumergido en los estanques del recinto para la total eliminación de la savia, y su posterior traslado al aserradero, el marcado para la división de los troncos seleccionados para la reconstrucción de los templos es realizado también por el maestro carpintero, comenzando por la línea central, para lo cual emplea una plomada, una serie de escuadras y una cuerda. El marcado comienza con las piezas mayores, y los elementos más pequeños se obtienen del sobrante. El maestro anota

también con una tira de bambú empapada en tinta toda la información relativa al destino final de las piezas en los extremos superiores de los troncos.

Posteriormente estos troncos son cortados, y los pilares, vigas y correas reciben un corte longitudinal donde concentrar las posibles deformaciones. Las escuadrías se ordenan por edificio y son apiladas para secar. Grandes grapas son introducidas en las caras finales de las piezas más grandes para prevenir la aparición de grietas.

Tras el proceso de conformado y secado de las piezas, que llega a durar varios años, se realizan pruebas de montaje en los talleres que son desmontadas para ser transportadas al lugar de construcción. Una estructura auxiliar (*suyane*) similar a un andamio cubre los templos completamente durante su ensamblaje. Las herramientas eléctricas y los motores de gas no están permitidos dentro del recinto sagrado, con lo que un polipasto manual ha de ser instalado para ayudar a ensamblar los elementos más pesados. Todos los elementos se unen sin necesidad de elementos auxiliares metálicos. Solo algunos clavos y tornillos se emplean hoy para sujetar algunas pequeñas piezas, como los listones que cubren los huecos en el tablero de cubierta.

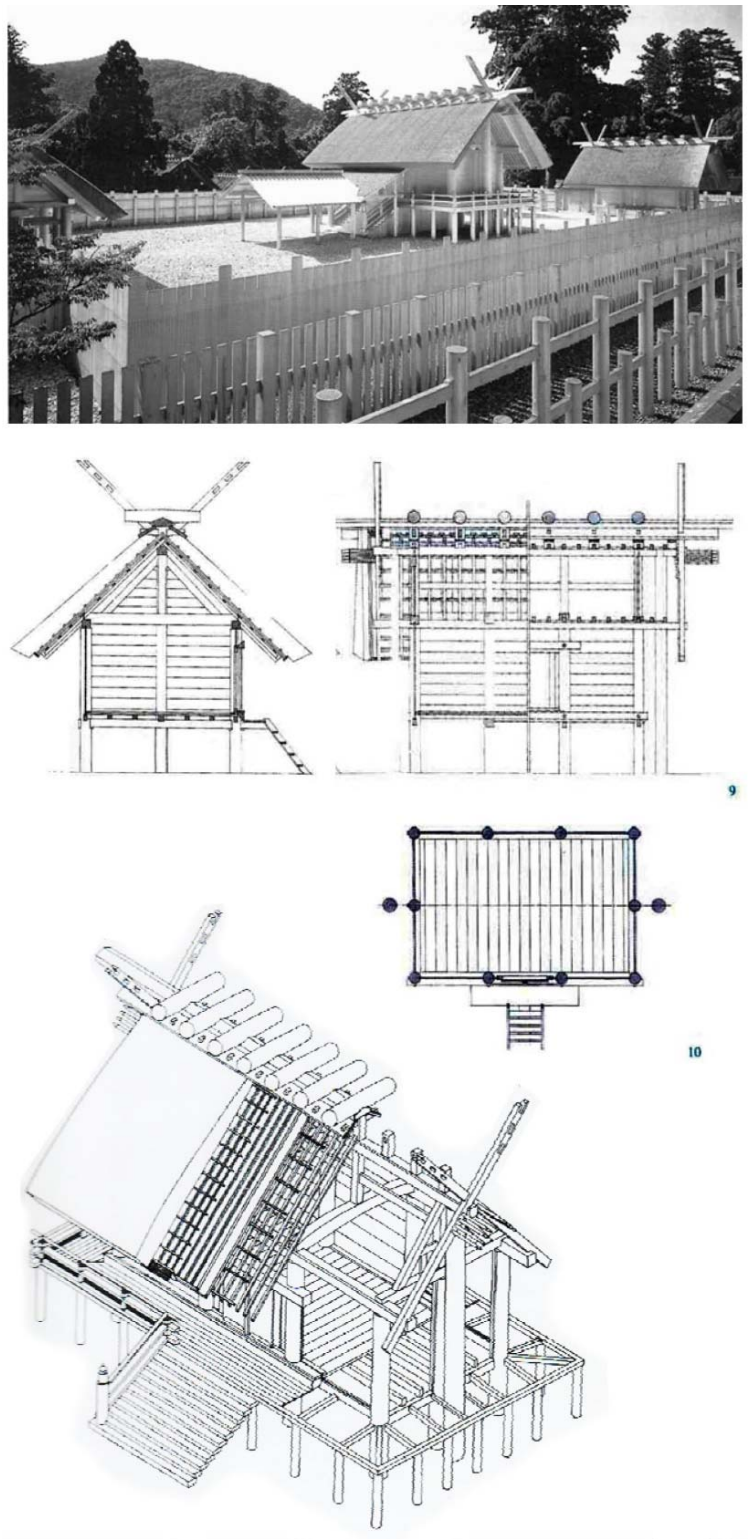
Los templos antiguos se mantienen levantados junto a los nuevos durante unas seis semanas antes de ser desmontados y proceder a su reutilización.

Este proceso de renovación implica no solo la reconstrucción de los templos, sino también la transmisión de una serie de habilidades y de conocimientos del maestro carpintero a sus aprendices. Éstos han de aprender del maestro cómo conformar y ensamblar los distintos elementos empleando las herramientas tradicionales de la carpintería japonesa. Las nuevas piezas de la construcción han de ser conformadas con la máxima exactitud y precisión y estar situadas en el mismo lugar que aquellas del templo original colindante.

Las uniones y empalmes de las distintas escuadrías albergan los secretos de la carpintería ancestral más delicada y exigen de un oficio y una destreza sobresalientes. Así, los carpinteros tienen una importancia fundamental, hasta tal punto que el patrimonio que se conserva en Ise es el patrimonio intangible de la sabiduría artesanal.

La continuidad del conocimiento y de las habilidades necesarias para llevar a cabo la construcción de los templos aseguran en este caso su permanencia. Así, lo que se conserva en Ise es la forma, pero no su manifestación material, que es reemplazada periódicamente. La entidad espiritual del Santuario es lo que es preservado, y no su apariencia física. Ise Jingu, que cuenta con más de 1500 años de historia, no tiene sin embargo más de 20 años de edad.

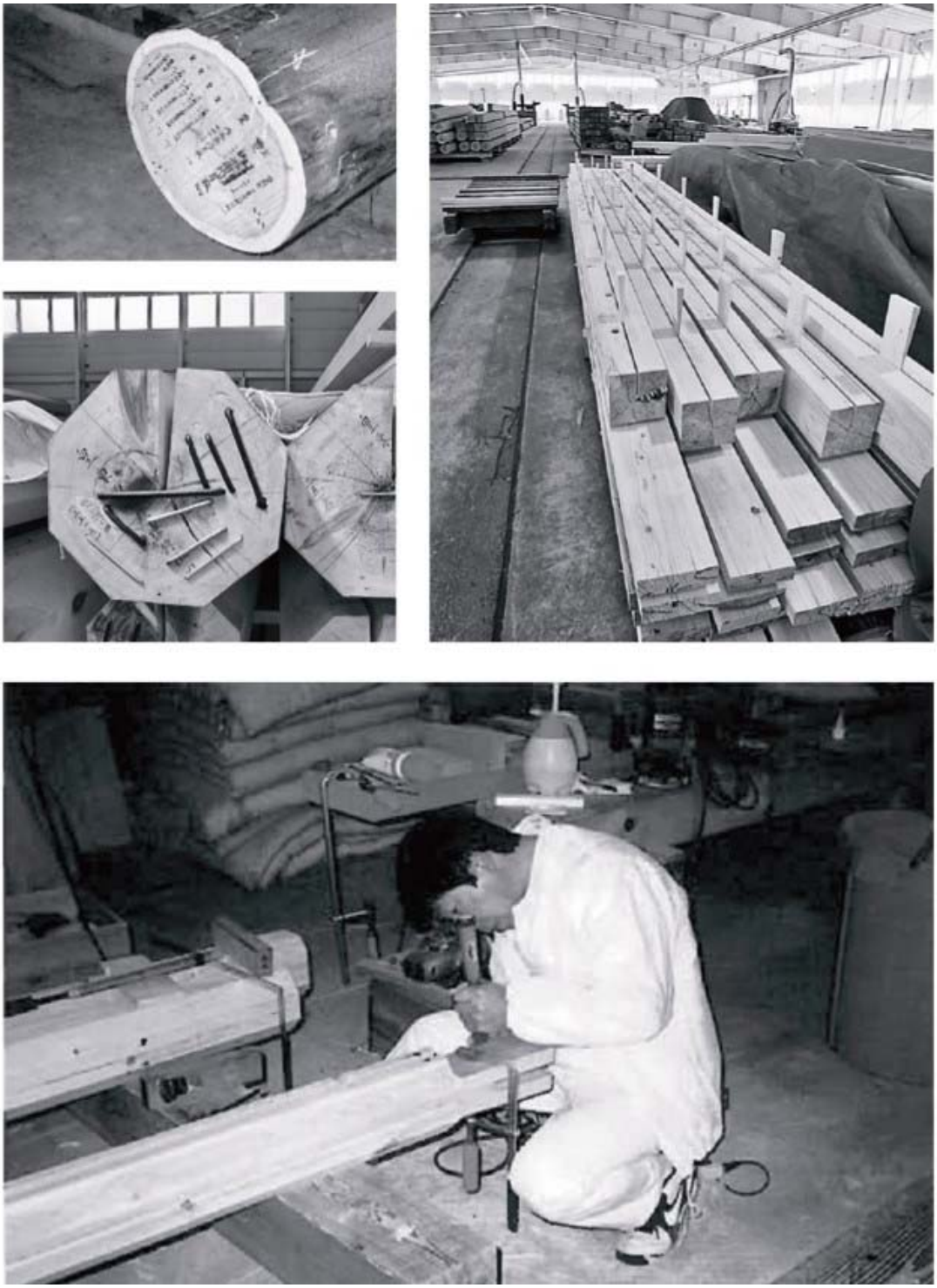
La correcta gestión de la energía se presenta como uno de los princípiales retos del siglo XXI, y hemos de pensar en soluciones válidas y eficientes. De la lectura de estas



3.4.2.a
Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮)
Fernando Vegas, Camila Mileto. *El espacio, el silencio, y la sugestión del pasado. El Santuario de Ise en Japón.* Loggia: Arquitectura y Restauración 2002, p.14, p.18.

Superior: Santuario interior de Naiku, que guarda el espejo reliquia de Amaterasu Omikami. Inferior: planta, alzado, sección y axonometría del Santuario exterior de Geku.

construcciones vivas del pasado obtenemos algunas de las claves con las que proyectar la arquitectura del futuro. Se trata de construcciones formadas por infinitas partes ensambladas que articulan el edificio de acuerdo con la escala del material y la manera en que éstas se conectan es determinante. Son estructuras estables y bien ejecutadas, y al mismo tiempo desmontables, cuyos componentes pueden ser reutilizados, transformados y montados de nuevo en nuevas combinaciones.



3.4.2.b
Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮)
Fernando Vegas, Camila Mileto. *El espacio, el silencio, y la sugestión del pasado. El Santuario de Ise en Japón.* Loggia: Arquitectura y Restauración 2002, p.23.

Tronco de madera con marcas en la sección que indican el aprovechamiento del mismo y el destino de la piezas. Hendidura longitudinal y grapas colocadas en las bases de las piezas de madera para evitar las grietas de secado, piezas ya cortadas para la reconstrucción, maestro carpintero vestido de blanco trabajando.

3.4.3. POSTE Y DINTEL EN MANOS DEL CARPINTERO

.....

En el centro de Tokio, en el área de Bunkyo, se lleva a cabo en otoño del año 2015 la reconstrucción, tras su total desmantelamiento, de la pagoda de tres pisos de Seirin-ji.

Fujita Kaori, Profesora del Graduate School of Engineering en The University of Tokyo, y Jung Jiyoun, doctorando de la misma Universidad, me descubren el caso y me facilitan el acceso al lugar de reconstrucción de la pagoda para su estudio. Al llegar al templo nos recibe Fujino-san, el maestro carpintero.

La pagoda del templo de Seirin-ji tiene tres pisos. Cada uno de ellos está formado por un cuerpo principal con una serie de pilares perimetrales y otros interiores, sobre el que se construye una doble cubierta. La construcción se encuentra atravesada en toda su altura por una gran columna central que se encuentra conectada a la estructura de la pagoda únicamente a través de unas vigas situadas en la cubierta del piso superior. Este eje central, de unos 70 cm de diámetro en su base y de peso considerable, sirve para estabilizar el conjunto. Habitualmente no se apoya ni siquiera en el suelo de la planta baja, sino que comienza por encima de las vigas del primer piso dejando su base libre.

Las columnas de la planta inferior descansan sobre grandes piedras conectándose a ellas mediante un perno metálico insertado previamente en cada piedra. Cuatro columnas se sitúan en el interior y doce en el perímetro exterior. Los soportes exteriores están atados mediante vigas situadas a diferentes niveles encajadas en el lateral de cada soporte y fijadas con cuñas. En la cabeza de los soportes, un entramado de vigas une el conjunto entre sí. La estructura de cada cubierta se apoya en el cuerpo principal a través de un complejo juego de ménsulas y cabios que se superponen creando mallas espaciales y conformando conjuntos de capiteles y

dinteles. Un gran bloque de madera se fija a la cabeza de cada columna por medio de una espiga cilíndrica. Después se añade una ménsula y después otra de centrado perpendicular apoyada sobre el bloque inicial y unida a la primera a media madera. Sobre éstas se colocan vigas con un vuelo de alrededor de metro y medio. El plano de fachada se completa en este nivel mediante vigas de borde que descansan unas sobre otras y que vuelan ligeramente en las esquinas.

La cubierta está formada por una doble estructura desarrollada en dos niveles. Los pares principales del nivel inferior apoyan sobre el extremo exterior de las vigas en voladizo y se enlazan al interior a un marco colocado sobre pequeños puntales en torno al eje central. El conjunto se arriostra con series de tirantes situados a distintas alturas. Para la construcción del nivel superior, se colocan de nuevo ménsulas enrasadas sobre cada par principal que sostienen vigas longitudinales sobre las que



3.4.3.a
Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Otoño 2015. Fotografía de la autora.

El maestro capintero de la pagoda de Seirin-ji, Fujino-san, junto a la gran columna central que colgará de un conjunto de vigas situadas en la cubierta. Este elemento se realiza enlazando distintas secciones de madera mediante juntas a tracción.

descansa el alero visto de cubierta formado por haces de pequeños pares paralelos. En las esquinas de la cubierta se disponen cuatro grandes vigas en

pendiente de unos 11 metros de longitud colocadas sobre los pares del nivel inferior y de nuevo apoyadas en ménsulas entrecruzadas que servirán como apoyo de las columnas perimetrales e interiores de la planta superior. El acabado de cubierta se realiza con tejas curvas que en el borde disminuyen su pendiente mediante la colocación de una correa perimetral situada sobre el extremo exterior de los pares del alero.

Las plantas superiores se levantan siguiendo este mismo esquema. Su cerramiento se realiza a base de tableros pintados situados entre los soportes que dejan la estructura vista. Cada planta presenta unas dimensiones ligeramente menores a la inmediatamente inferior de modo que los distintos soportes no coinciden en la misma vertical y se levantan en cada tramo de manera independiente apoyándose sobre las vigas de cubierta equilibrando a su vez la serie de voladizos. El sistema estructural resulta ser altamente flexible y eficaz. En caso de sismo los pilares perimetrales se desconectan completamente en sus bases y la columna central se balancea contribuyendo a recuperar la estabilidad del conjunto. Así se explica que las pagodas hayan sido las construcciones que más han resistido ante los mayores terremotos.

El carpintero se encuentra en estos momentos ensamblando la estructura superior de la primera cubierta de la pagoda. Un reportaje de la anterior reconstrucción realizada a finales del siglo XX, con fotografías e imágenes detalladas, le sirve de guía. A la vez emplea una maqueta hecha por piezas a escala 1:30 que él mismo ha realizado con la intención de estudiar el orden de montaje de cada elemento y los encuentros problemáticos. Antes de conformar las piezas finales el carpintero nos explica cómo realiza hasta cinco modelos a escala real de los encuentros más complejos, sobre los que finalmente decide la solución definitiva.

El maestro carpintero nos insiste en la importancia de las herramientas mientras nos muestra su *yariganna*, hacha de bordes afilados, y su *kanna* o cepillo tradicional que se encuentran junto a su mesa. Su evolución ha permitido obtener cada vez más precisión en la construcción.

Las herramientas manuales son parte inseparable del carpintero y esto a pesar de las muchas prácticas adaptadas a las condiciones actuales y del uso de otro tipo de máquinas y dispositivos de última tecnología, como las sierras de disco eléctricas, que nos encontramos en el taller de Seirin-ji.



3.4.3.b
Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Otoño 2015. Fotografía de la autora.

El maestro carpintero Fujino-san, nos muestra una maqueta a escala 1.30 que emplea para estudiar el orden de montaje de cada elemento y los encuentros problemáticos.

3.4.4. POSTE Y DINTEL Y LA REPRODUCCIÓN TÉCNICA

.....

El original Yakushi-ji, construido en Fujiwara-kyō, la capital de Japón en el período Asuka, fue mandado construir por el Emperador Temmu en el año 680 para orar por la recuperación de su consorte enferma, quien le sucedió como Emperatriz Jitō. Cuando el Emperador Temmu muere la Emperatriz Jitō completa el complejo en torno a 698.

Ocho años más tarde, una nueva capital llamada Heijō se establece al norte de Fujiwara, en el lugar que ocupa hoy la actual Nara. Ya que la construcción en madera del momento permitía su fácil desmontaje y transporte, muchas construcciones importantes, como palacios y templos, fueron trasladadas a la nueva capital cuando la Corte Imperial se estableció en ella. Yakushi-ji fue desmontado pieza a pieza, trasladado y levantado con la misma estructura y planta en la nueva capital en 718.

En 1979 se inicia la creación de una réplica del complejo, llamada Sanzō-in, junto al Templo antiguo, que reproduce las características técnicas y constructivas del complejo principal. En este complejo se construye el pabellón llamado "Picture Hall". El seguimiento y estudio del levantamiento de este pequeño templo nos permitirá conocer la construcción en madera del antiguo templo japonés y entender la realidad del desmontaje y traslado del edificio llevada a cabo en el año 718.

Seis meses después de que comenzara la fabricación de las distintas piezas, el 1 de noviembre de 1985 se iniciaron los trabajos de construcción. El montaje de la estructura básica, incluida gran parte de la cubierta, se realizó en un mes.

Sobre una base construida con piedra y barro se colocaron grandes piedras que coincidían con la posición de cada una de las veintiséis columnas. Cada piedra de cimentación presentaba un perno de bronce que encajaría en la oquedad correspondiente de la base de cada columna. Éstas tienen sección ligeramente cóncava para disminuir la posibilidad de que el agua quede retenida en la madera originando problemas de humedad.

Veinte columnas se sitúan en el perímetro, y seis en el interior. Vigas de atado situadas en cuatro niveles (base, intermedio inferior, intermedio superior y cabeza), unen las columnas perimetrales entre sí. Las columnas interiores solo dispondrán de vigas de atado en los dos niveles superiores.

Las escuadrías inferiores se colocan directamente sobre las piedras de cimentación antes de que las columnas sean encajadas. Los tirantes intermedios se aseguran a las columnas con cuñas. Finalmente, las vigas de cabeza se colocan en las ranuras del extremo superior de las columnas. Estos tirantes superiores enlazan unas con otras mediante juntas de empalme, penetrando en las esquinas solo parcialmente en las columnas.

Sobre los soportes, un gran bloque de madera se fija a la cabeza de la columna por medio de una espiga cilíndrica insertada en la viga de atado de cabeza. Después se añade una zapata, y luego otra de centrado que descansa sobre el bloque inicial y la primera zapata. Finalmente, dos pequeños bloques se colocan en la parte superior mediante dos espigas completando el conjunto. En los soportes de esquina el detalle es similar, pero con tres zapatas, una de ellas dispuesta de manera diagonal. En este momento se añaden unos pequeños puntales sobre los tirantes superiores entre las cabezas de los soportes.

Para reforzar la estructura principal se sitúan dos vigas interiores que descansan en un extremo sobre las cabezas de dos soportes perimetrales, y en el otro sobre las columnas de la línea central, a las que se anclan mediante uniones en caja y espiga. Otro nuevo nivel de vigas se dispone sobre la cabeza de los soportes y los puntales intermedios. Y, posteriormente, pesadas escuadrías formarán la estructura transversal, soportando la mayor parte de la carga de cubierta. Están divididas en dos tramos de distinta longitud cuya junta se sitúa sobre las columnas interiores. Primero se colocan los tramos cortos y posteriormente los largos que se unirán a los primeros mediante un empalme en Rayo de Júpiter. Estas vigas deben ser atadas por medio de largos tirantes que recorren toda la estructura. Al igual que las piezas de atado de las cabezas de las columnas, estos tirantes se unen entre ellos con juntas a media madera.

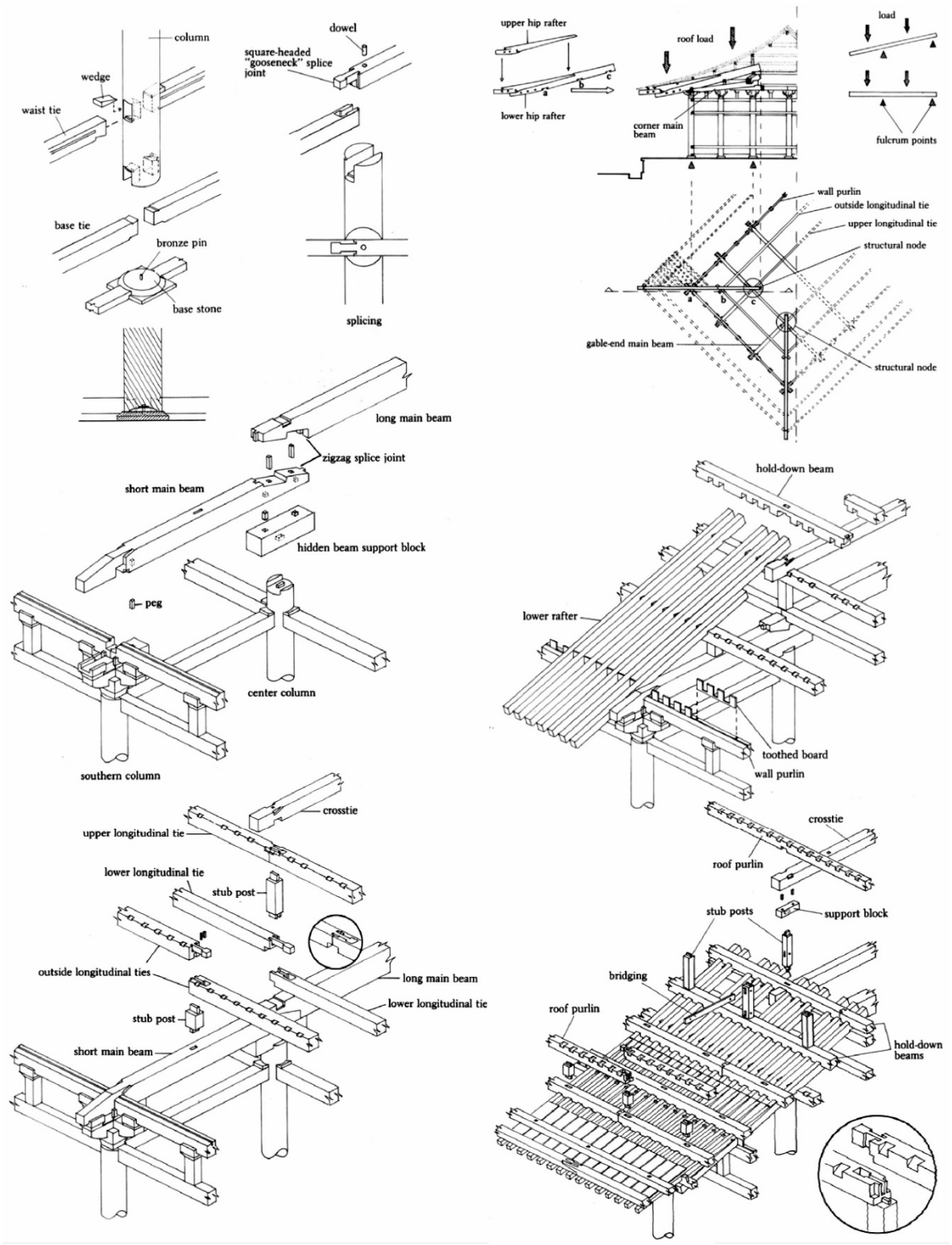
En las esquinas, estas vigas se extienden desde las cabezas de las columnas de esquina hasta la viga principal más cercana, adquiriendo cierta pendiente. Sobre ella se sitúa la viga de hastial que adopta una pendiente aún mayor. El resultado es una pila de elementos estructurales creando un gran conjunto ensamblado de madera.

En las cuatro esquinas de la construcción se disponen las principales escuadrías que caracterizan las cubiertas japonesas. Se trata de cuatro limas estructurales que se componen de dos partes: base y vuelo. Estas piezas compuestas vuelan más allá de la línea de fachada un tercio de su longitud y soportan una considerable proporción de la sobrecarga del voladizo de la cubierta. Las "bases" se encajan en ranuras en tres puntos: en el encuentro de los tirantes interiores, en la esquina de la viga principal, y en la unión de la viga de borde y la cabeza de la columna de esquina. Están diseñadas para estabilizar distintas capas de la estructura a la vez que se apoya sobre ellas. Los "vuelos" se fijan mediante un surco y dos espigas rectangulares a las "bases". Las dos partes de las limas se unirán posteriormente mediante pasadores de hierro forjado en forma de U de gran tamaño [63].

Un rasgo que diferencia los templos japoneses de otros prototipos orientales es el uso de una cubierta camuflada. Los pares que aparecen en los aleros no son los reales ya que no soportan directamente la superficie de cubierta. La inclinación de la cubierta real es mayor que la que presentan los elementos que se ven en los aleros. El espacio vacío entre la suave pendiente de las vigas expuestas y los pares ocultos de fuerte pendiente contiene enanos y correas, y numerosos pequeños tirantes. Los pares

63
Azby S. Brown. *The genius of Japanese Carpentry. The secrets of a craft.* Tokyō: Kodansha International, 1995. p. 89-133.

reales apoyan sobre las correas y no son visibles. Varias series de enanos y durmientes soportarán la cumbrera oculta.



3.4.4
Montaje de la réplica del Picture Hall de Yakushi-ji. Nara, Japón.1985. S. Azby Brown.

Representación del proceso de montaje de la réplica del pabellón Picture Hall del templo de Yakushi-ji.
El montaje se inicia en noviembre de 1985.
El montaje de la estructura básica, incluida gran parte de la cubierta, se realizó en un mes.

3.4.5. POSTE Y DINTEL Y LA COLECTIVIDAD

.....

Minka significa literalmente "casas de la gente" [64] en japonés y designa de manera genérica a la casa tradicional japonesa construida fundamentalmente desde las épocas más antiguas hasta finales del periodo Edo (1603-1868).

Aquellas casas construidas en el campo se denominan *nouka*, las casas de la ciudad *machiya*, las de pescadores *gyoka* y las construidas en las montañas *sanka*. El espacio interior de una minka aparece dividido habitualmente en una zona de acceso (*doma*) con un establo (*umaya*) ambos sobre un suelo de tierra batida, y una zona de habitaciones con dormitorio (*nema*), zona de estar (*hiroma*) cocina (*katte*) y sala de recepción (*dei, zashiki*), sobre un suelo de madera elevado.

Las características constructivas y funcionales de la casa tradicional japonesa son el resultado de su adaptación elemental al clima, como el suelo elevado sobre postes, o las puertas correderas para dejar pasar el aire a través de la vivienda. La humedad relativa es muy elevada y es similar en todo Japón. También el viento sopla durante todo el año con una intensidad media que varía sorprendentemente poco de un lugar a otro del territorio. Del mismo modo existe un alto porcentaje de horas de sol por año a lo largo de todo el país. Esta consideración elemental al clima es mostrada muy probablemente por todos los pueblos de la tierra y también la encontramos aquí, aunque con alguna singularidad.

La casa japonesa resulta fundamentalmente de las condiciones ambientales del verano. En primavera y en otoño el sol tiene una influencia especial en la manera de vivir y las brasas dan al lugar ese calor que el sol ya no ofrece. Sin embargo, su construcción parece ignorar las condiciones del invierno. En el Norte de la isla principal del país encontramos la misma construcción ligera que en cualquier otro lugar a pesar de que allí el invierno dura seis meses. Da la sensación de que los japoneses "toman el invierno como una ilusión, tratando de ignorarlo en la concepción de sus casas" [65], un hecho que pagan con un inmenso consumo de combustible en numerosas ocasiones. Algo que merecería ser tenido en cuenta dada la disminución progresiva de los recursos madereros en el archipiélago.

Dos sistemas estructurales claramente diferenciados se superponen en estas construcciones, funcionando de manera independiente. El primero se corresponde con la planta principal (*jikugumi*), que es construida por carpinteros, y el segundo con la cubierta (*koyagumi*), realizada fundamentalmente por la comunidad.

La construcción de la planta principal se basa en un sistema de poste y dintel realizado mediante un entramado de vigas y pilares unidos mediante juntas de madera. Con el fin de aumentar el ancho de la crujía, limitado por la dimensión de las piezas de cubierta y la capacidad portante de la estructura de la planta inferior, una serie de pilares perimetrales de menor sección, de unos 12 por 12 cm, se disponen

64
Kazuo Nishi; Kazuo Hozumi. What is Japanese architecture? A survey of traditional Japanese architecture. Tokyo - New York - London: Kodasha International, 1996, p. 82.

65
Bruno Taut. Houses and People of Japan. Second Edition. Tokyo: Sanseido, 1958. Planteamiento enunciado en Chapter V. Farmers and Fishermen.

alrededor del área central (*joya*), creando una galería de altura inferior denominada *geya* que, además de ampliar el espacio interior, contribuye a reducir el número de soportes de la zona principal.

En las casas más antiguas los soportes penetraban directamente en el terreno, pasando a situarse a partir de mediados del periodo Edo (1603-1868) sobre piedras de unos 15 a 25 cm de diámetro colocadas en un terreno apisonado a mano hasta alcanzar un nivelado perfecto gracias al empleo de niveles de agua realizados con tubos. En estos casos, la sección inferior de los soportes era minuciosamente tallada por el carpintero para ajustarse perfectamente a la superficie irregular superior de cada una de las piedras. Más adelante, el modelo evolucionaría haciendo descansar los postes en una viga corrida situada sobre una hilera de piedras. Las casas se levantarían enteramente de este modo sobre el nivel del suelo, evitando así el contacto de la madera con el terreno natural.

El carpintero (*daiku*) tiene un papel principal en el levantamiento de la estructura de la planta principal (*jikugumi*), ensamblando las piezas que previamente ha conformado. El pilar central de la vivienda tiene una importancia fundamental. Es el primero que se coloca, presentando una sección mayor que el resto, y habitualmente es de madera de zelkova.

Colocados los soportes en su posición, se unen en su base con vigas transversales y tirantes de atado perimetrales que penetran en los pilares en cajas realizadas en su parte inferior. El conjunto se asegura por medio de cuñas. En la parte superior, vigas principales, dinteles y tirantes conectan los soportes entre sí a distintos niveles, empleando también juntas de caja y espiga en estos casos. En ocasiones la espiga de la viga atraviesa por completo el soporte, ajustándose al otro lado del mismo por medio de clavijas.

La estructura principal de la cubierta (*koyagumi*) consiste en una serie de pares situados sobre las vigas principales a intervalos de 1 ken (aproximadamente 1,8 metros). Su borde inferior presenta una espiga afilada que se introduce en las cajas realizadas en el extremo de vigas inferiores, descansando de este modo sobre ellas sin ayuda de clavos o de ningún otro elemento de sujeción. Cada par se une en la cumbrera con su opuesto mediante una junta de caja con espiga pasante. A menudo puntales verticales y vigas transversales horizontales se sitúan bajo los pares de la cubierta, contribuyendo de este modo a mejorar la resistencia y la estabilidad del conjunto. Esta estructura se mantiene en su posición sobre la planta inferior por gravedad. Si se deforma o se desplaza ligeramente puede recuperar su posición de manera natural, las espigas se encajan de nuevo en las vigas por el propio peso de la cubierta, estabilizando así el conjunto. El carpintero da por concluida su labor de montaje de la estructura principal de la cubierta con la colocación de la pieza de cumbrera.

La mayoría de las casas tradicionales japonesas, especialmente aquellas construidas en el campo, presentan cubiertas de paja, que en japonés se denomina *kaya*. La

principal ventaja del empleo de este tipo de cobertura es que habitualmente todos los materiales necesarios para su construcción se encuentran a mano, y que todo el proceso de construcción puede ser realizado por la gente de la comunidad.

Sobre las vigas principales de cubierta se sitúan cañas de bambú separadas 50 cm aproximadamente, y sobre estas un entramado de parecillos cada 23 cm y varas cada 15 cm también de bambú, que se unen con cuerdas a las correas y a los pares de cubierta, dando lugar a conexiones muy flexibles. Este entramado constituye la base del acabado de cubierta en la que no se utiliza ningún tipo de tablero.

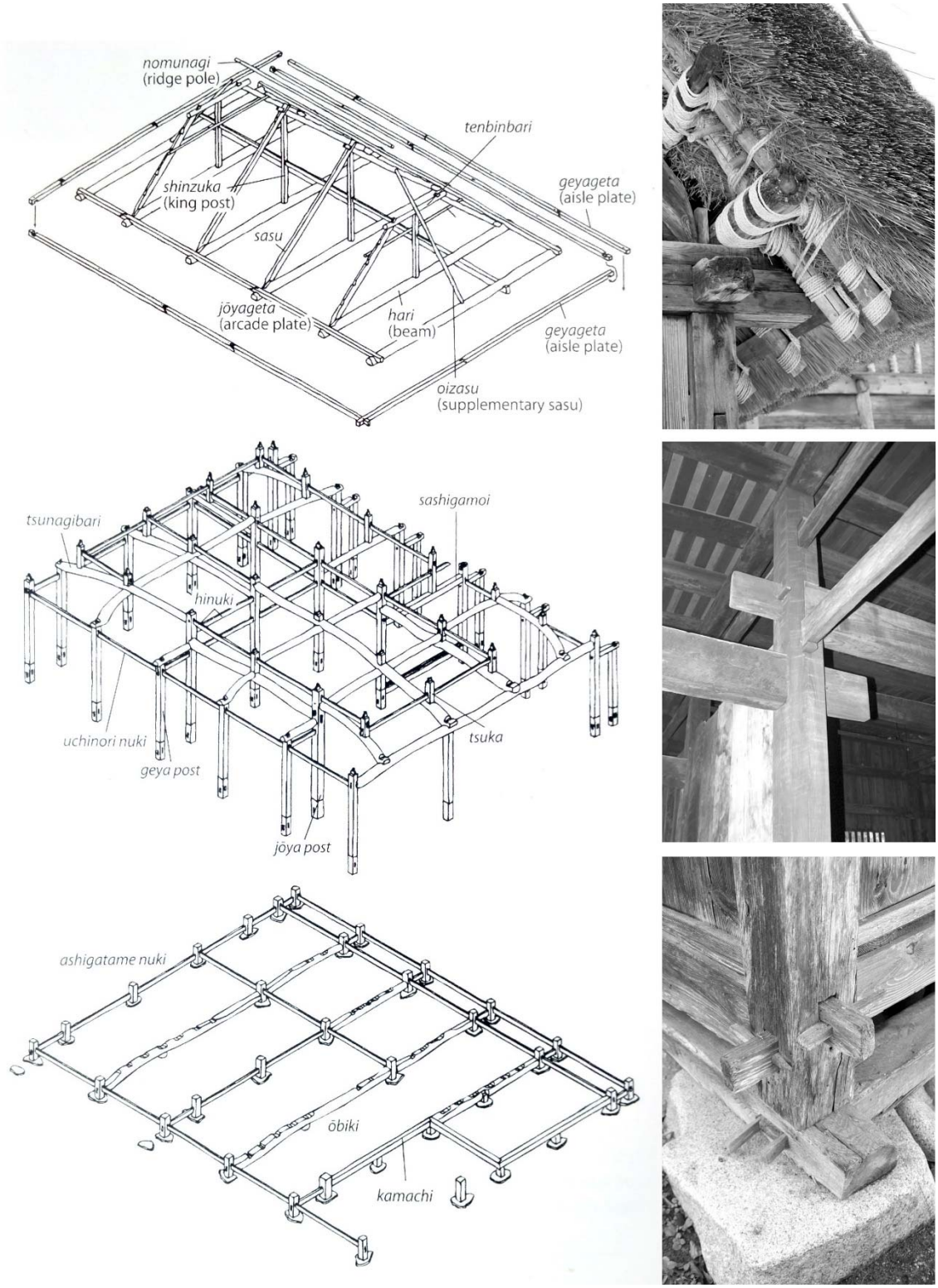
La paja que se emplea en la cubierta se recoge habitualmente durante el otoño, dejándola secar hasta la siguiente primavera. Una vez cortados los fajos de paja de mayor calidad con la longitud adecuada, estos se colocan en las zonas más visibles: primero en los aleros, posteriormente en los hastiales, de manera transversal en los bordes de la cubierta y, finalmente, de forma radial en las esquinas, asegurándose más tarde con varas de bambú. El proceso continúa con la colocación de dos capas más de paja sobre esta primera, completando de este modo la banda perimetral de la cubierta. La cobertura del resto de la superficie de los faldones se realiza avanzando hacia la zona superior, asegurando la posición de los fajos con las varas de bambú dispuestas sobre ellos, y unidas a la base de la cubierta mediante cuerdas. El trabajo está completado cuando la paja alcanza un grosor de unos 30 a 50 cm. En la parte superior de la cubierta, los manojos de paja se doblan sobre otros más cortos para envolver la cumbrera, que en ocasiones se protege con corteza de madera, con bambú o incluso con piezas cerámicas.

Las paredes exteriores de las casas estaban realizadas habitualmente con un entramado de varillas de bambú ancladas a los postes y vigas de madera revestido con barro, lo que contribuía a mejorar su resistencia al fuego, y a aumentar su aislamiento térmico y acústico. En algunos casos, también se pueden encontrar paredes exteriores realizadas con tablones de madera clavados a la estructura horizontal entre soportes, o incluso con paja.

El suelo elevado del espacio interior podía ser de esteras de paja de arroz sobre estructura de bambú o de tablones de madera. En construcciones más recientes sobre este tablero de madera encontramos un suelo de tatami.

Las particiones interiores eran realizadas por un carpintero. Son extremadamente ligeras y casi siempre móviles, incluyendo paredes correderas de madera, traslúcidas de papel (*shoji*), opacas revestidas de papel (fusuma), o con listones horizontales dispuestos en celosía (*mairado*). Desde la segunda mitad del periodo Edo (1603-1868), bajo la influencia del estilo Shoin [66], se extiende la incorporación de una alcoba o *tokonoma*, una zona de estanterías y una zona de estudio con ventana, que se convertirán en espacios clave en las casas tradicionales japonesas.

66
Shoin-zukuri es un estilo de arquitectura residencial japonés usado en las mansiones de los militares, las salas de invitados y las habitaciones del abad *Zen* fundamentalmente durante el periodo *Azuchi-Momoyama* (1568-1600) y el período *Edo* (1600-1868).



3.4.5.a
Montaje de la *minka* Ota. Satoshi Ono et al. *Nihon Minkaen: Japan Open-Air Folk House Museum.* Kawasaki (Japan): Nihon Minkaen, 1993. p. 20-21

Representación en axonometría del montaje de los elementos de la estructura principal (jikugumi) y de los elementos de cubierta (koyagumi) de la *minka* Ota. Fotografías del ensamblaje en la base de los soportes, juntas en la base de la cubierta y uniones en la cubierta de paja.

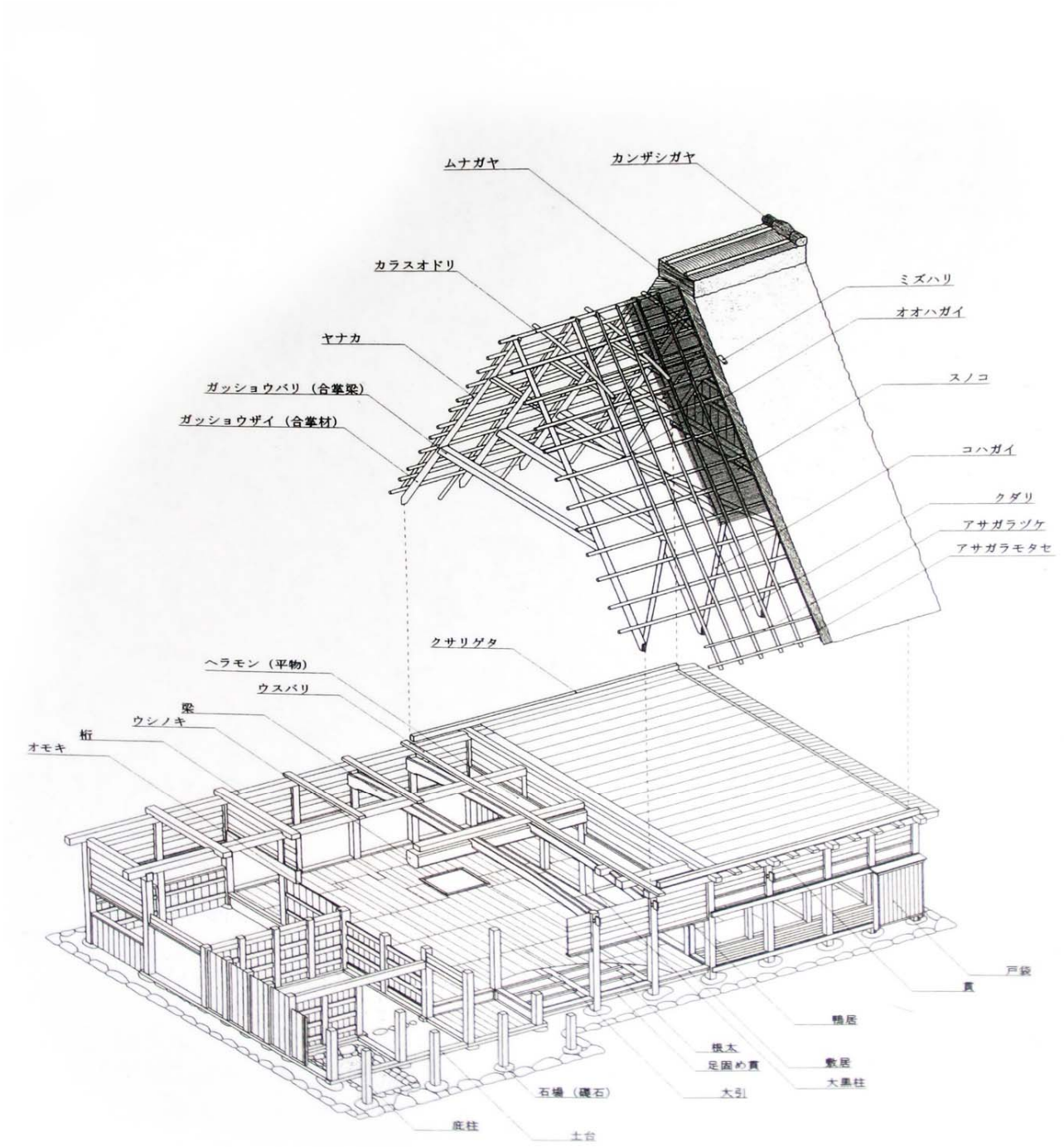
Los dos sistemas estructurales superpuestos que encontramos en estas construcciones, *jikugumi* y *koyagumi*, presentan a su vez distintos periodos de mantenimiento. La reposición del material de cubierta es realizada por la comunidad cada pocos años, retirando los fajos existentes y reutilizando la paja que se encuentra en buen estado, mientras que la estructura de la planta principal, hecha de escuadrías de madera de distinta sección, puede permanecer en buenas condiciones durante varias décadas, siendo un carpintero especializado el que realiza las labores de reparación y mantenimiento. Este cuidado periódico está fuertemente relacionado con la escala humana de la casa tradicional japonesa. Así, algunas de estas construcciones han llegado a durar más de 300 años, como la casa Sakuda [67], actualmente en el Japan Open-Air Folk House Museum en Kawasaki.

Esto contrasta en gran medida con la situación actual, en la que una vivienda en Japón solo dura una media de 30 años antes de ser demolida, retroalimentando así al mercado inmobiliario, dando lugar a lo que se ha venido a llamar la "cultura de la casa desechable", reconocida por muchos como ambiental y económicamente insostenible. Y eso a pesar de que los sistemas empleados en la construcción de estas viviendas permitirían una duración mucho mayor.

Por ejemplo, las casas fabricadas por las compañías japonesas Muji o Nice incorporan estructuras de entramado de vigas y pilares similares a las empleadas en las casas tradicionales japonesas, pero esta vez de madera laminada con elementos metálicos de conexión, lo que aumenta considerablemente la resistencia en las uniones y la robustez de la estructura, y con ello también su capacidad de resistencia al sismo.

La casa tradicional japonesa puede ser desmontada y trasladada a otra ubicación con relativa facilidad, y esta práctica se sigue realizando en la actualidad. Este trabajo es desarrollado por carpinteros que, después de realizar un detallado inventario de la posición de cada elemento en la casa original, desconectan las distintas piezas de madera que serán almacenadas, revisadas y reparadas, y finalmente unidas de nuevo en el nuevo emplazamiento. La vivienda reconstruida podrá adaptarse a una nueva configuración mediante el desplazamiento o eliminación de sus elementos secundarios.

67
La Casa Sakuda es una minka nouka amimoto de estilo Bunto. Ha sido declarada "Importante Propiedad Cultural de Japón". Originalmente fue construida en Kujukuri, Sambu, a finales del siglo XVII.



3.4.5.b
Axonometría de la Casa Nakano Yoshimori en Gassho-zukuri Minka-en Museum en Shirakawa-go. Prefectura de Gifu. Fotografía de la autora. Diciembre 2014.

Axonometría de la Casa Nakano Yoshimori expuesta en Gassho-zukuri Minka-en Museum en Shirakawa-go. Prefectura de Gifu.

3.4.6. POSTE Y DINTEL EN REGIONES AISLADAS

.....

Las casas Gassho-zukuri son un tipo de *minka* que tienen su origen en la aldea de Ogimachi en la región de Shirakawa-go, y en las aldeas de Ainokura y Suganuma en Gokayama, en la zona central de Japón, al Oeste de Tokio.

Situados en el valle del río Shokawa, y rodeadas por las montañas Hida y el monte Hakusan, estos asentamientos estuvieron aislados durante un largo periodo de tiempo. Como consecuencia de esto se desarrolló un tipo específico de *minka* construida con un sistema estructural lógico y racional adaptado a las condiciones ambientales, sociales y económicas de su entorno, basadas principalmente en el cultivo de moreras y en la cría de gusanos de seda.

Abundante en recursos forestales, esta región ofrecía madera como tributo a los *Shogun* [68] durante el periodo Edo. Madera de cedro, zelkova, pino y castaño era utilizada en la construcción de las casas, mientras que el ciprés japonés de la zona, hinoki, de muy alta calidad, era empleado principalmente para el pago de impuestos, y también vendido a otras regiones.

La nieve cae durante más de cuatro meses al año en esta área, acumulándose hasta llegar a alcanzar una altura de tres metros. La pronunciada pendiente de la cubierta de estas casas sirve para evitar que la nieve se acumule sobre ellas. Una estructura secundaria situada en su interior divide su altura en tres plantas. Largas barras diagonales incorporadas en las superficies inclinadas de los faldones arriostran el conjunto y dotan a la cubierta de la resistencia adecuada frente a la presión del viento. En la planta principal, la carga de la cubierta es dirigida hacia los muros exteriores mediante vigas inclinadas en sus extremos.

Las distintas plantas presentan techos realizados con celosías de bambú o enlistonados de madera empleadas para la cría de gusanos de seda, de modo que el calor de la hoguera inferior y el aire caliente de la zona de cocina puede atravesar estos techos, ascendiendo hasta la parte superior, y salir a través de la cubierta permeable y de las puertas deslizantes de papel situadas en los hastiales.

El humo del fuego tiñe además pilares y vigas, protege la cubierta del ataque de insectos, evita la pudrición de la construcción y ayuda a conservar los alimentos almacenados sobre la hoguera. El desarrollo de la cría de gusanos en las plantas superiores de estas casas comenzó a mediados del periodo Edo y ha continuado hasta las primeras décadas del siglo XX. Así, las construcciones Gassho-zukuri podrían ser consideradas edificios industriales, a pesar de su extraña apariencia. Los establos situados en la planta baja resultan excepcionalmente grandes para tratarse de una minka, pudiendo albergar varios caballos, protegiéndolos de las fuertes nevadas.

Debido a que los habitantes de estas aldeas desarrollaron una vida casi autosuficiente como consecuencia de las duras condiciones del clima y del suelo pobre y limitado,

68
Shogun lit. "comandante del ejercito" era un rango militar concedido directamente por el emperador. Al gobierno del Shogun se le conoce como Shogunato lit. "gobierno sobre la tienda", gobierno militar establecido en Japón con breves interrupciones entre finales del siglo XII hasta la Revolución Meiji de 1868. En 1867 muere el emperador Komei, y el nuevo emperador Mutsuhito elige el nombre de Meiji –gobierno de la luz– para referirse su reinado. Sus principios fueron restablecer la autoridad del Emperador y la occidentalización del país, poniendo fin a la época feudal desarrollando las técnicas de la Primera Revolución Industrial.



3.4.6.a
Aldea de Shirakawa-go.
Prefectura de Gifu. Japón.
Diciembre 2014.
Fotografía de la autora.

Las casas tradicionales que encontramos en Shirakawa-go son casas de estilo *gassho-zukuri* (**合掌造り**). Estas casas tienen un llamativo tejado triangular de aspecto tradicional. Está hecho de paja y es muy inclinado, ideal para soportar el peso de la abundante nieve que cae en esta zona en invierno. Curiosamente, su nombre gassho hace referencia a la imagen de dos manos en oración. Algunas de estas casas tienen casi 300 años.

el sentido de ayuda mutua y de comunidad emergió de manera natural, y las casas pasaron a construirse y a mantenerse de una manera eficiente. Los procesos de desmontaje y reparación eran realizados por la gente de las aldeas y los carpinteros de la zona, manteniendo así la economía del área.

Esta tradición continúa incluso hoy. Ejemplo de ello son las labores comunitarias de reconstrucción de cubiertas en Shirakawa-go que muestran cómo este sistema de cooperación sigue funcionando. La paja para la restauración de la cubierta recogida en otoño se seca en vallas alrededor de la vivienda durante el invierno, que además protegen el perímetro de la construcción de la acumulación de nieve. Gracias a la ayuda de los vecinos de la aldea, que trabajan juntos en una labor de cooperación denominada *yui*, la cubierta puede ser completada durante la primavera siguiente en un solo día.

Estas sencillas casas hechas con madera, bambú, cuerdas y paja, pueden ser consideradas realmente como obras maestras, resultado de la sabiduría aplicada de varias generaciones de aldeanos, que se remonta a los maestros carpinteros de Hida durante el periodo Edo (1603-1868).

Son construcciones formadas por infinitas partes ensambladas que articulan el edificio de acuerdo con la escala del material y la manera en que estas se conectan es determinante. Sus componentes pueden ser reutilizados, transformados y montados de nuevo en nuevas combinaciones. Levantadas para perdurar a lo largo del tiempo, la posibilidad de su desmontaje ha permitido su recuperación y conservación.



3.4.6.b
Aldea de Shirakawa-go.
Prefectura de Gifu. Japón.
Diciembre 2014.
Fotografía de la autora.

En 1967 las aldeas de Zakura y Katsura, situadas a unos veinte kilómetros de Shirakawa-go, fueron abandonadas. 26 casas Gassho-zukuri, un templo, un santuario y un molino de agua, fueron entonces desmontadas y trasladadas a Gassho-zukuri Minka-en Museum en Shirakawa-go. Prefectura de Gifu. La imagen muestra 11 de esas 29 construcciones, 9 de ellas declaradas "Importante Propiedad Cultural de la Prefectura"* 1·Higashiya Shomatsu Storage Shed, 2*·Nakano Yoshimori Storage Shed, 3·Watermill, 4*·Nakano Yoshimori House I, 5*·Nakano Yoshimori House, 6*·Higashi Shina House, 7·Asano Chuichi House, 8·Higashi-Chisho Rice Drying Shed, 9*·Yamashita Horuro House, 10·Takeda Sheijiro Storage Shed, 11*·Oya Fujishige Storage Shed.

3. 5. ESQUELETO Y PARED

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Esqueleto: Del lat. cient. *sceleton*, y este del gr. σκελετόν *skeletón* 'esqueleto' y también 'momia', der. de σκέλλειν *skéllein* 'desecar'.

1. m. Conjunto de piezas duras y resistentes, por lo regular trabadas o articuladas entre sí, que da consistencia al cuerpo de los animales, sosteniendo o protegiendo sus partes blandas.

[…]

4. m. Armazón que sostiene algo.

[…]

Pared: Del lat. *paries*, -ĕtis.

[…]

2. f. Placa de cualquier material con que se divide o cierra un espacio. Una casucha miserable con paredes de paja.

3. f. Superficie lateral de un cuerpo.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Esqueleto:

Del lat. cient. *sceleton*, y este del gr. σκελετόν *skeletón* 'esqueleto' y también 'momia', der. de σκέλλειν *skéllein* 'desecar'.

Pared:

Del lat. *paries*, -ĕtis, ‘pared’, ‘particiones dentro de un edificio’.

.....
Camille Bonnome y Louise Leonard citado por Paul Bernard en *La construcción por componentes compatibles*. Editores técnicos asociados. Barcelona. 1983. p.40

“La industrialización de la edificación, es la búsqueda de las condiciones óptimas para la ejecución de los trabajos de construcción, adaptadas a las concepciones económicas modernas y al progreso técnico mediante una preparación minuciosa y metódica del trabajo. Ello implica, en verdad, el empleo, en todas las fases de ejecución, de medios y aparatos mecánicos adaptados para la preparación, la fabricación, la conservación y la puesta en obra de los materiales, pero impone también la organización científica de la obra y más generalmente, de una forma

imperiosa, la organización racional de todas las funciones, cualesquiera que sean que formen parte de la acción de edificar: programa, estudio, ejecución, contabilización, facturación, explotación y cualquiera que sea el promotor: contratista, técnicos de todas las disciplinas, empresarios y aún el jefe de obra."

"La casa individual debe ser ligera y dinámica, expresión de la gran serie característica de la industria."

. . . . . .
Prouvé citado en: Mariano Bayón. *Vivienda en Nancy. La arquitectura del material como proceso abierto. Jean Prouvé. Arquitecturas silenciosas #4.* Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. 2001.

"Es preciso incluir el concepto de opcionabilidad que en su día propuso el Seminario de Prefabricación, por ello solo consideramos prefabricado a un elemento o a un sistema, que pudiendo ser realizado en obra, lo es en fábrica. Si no podemos realizar esa elección tendremos un elemento hecho in-situ o bien un producto industrial.

Según esta definición no consideraríamos prefabricado un lavabo, un perfil laminado, ni un ladrillo."

. . . . . .
Seminario de Prefabricación *Arquitectura y represión* Ed Cuadernos para el diálogo. Madrid 1973

"Igualmente, la producción en fábrica de una mayor o menor cantidad de los elementos que constituyen una obra no implica tampoco que la obra sea industrializada, pues depende, como se ha indicado antes, de la totalidad del proceso constructivo. Es más, puede que la fabricación de dichos elementos esté muy poco mecanizada, sea más o menos artesanal, aunque se esté trabajando a cubierto. Por tanto, el lugar de fabricación no implica la industrialización."

. . . . . .
Alfonso del Águila. *Las tecnologías de la Industrilización de los edificios de vivienda*. Colegio Oficial de Arqutiectos de Madrid. 1986-1992. Tomo 1. p.18.

"DGS: When you are doing the Yatch house and you are bringing this kind of technology, this kind of materials and solutions, and you are implementing them into Architecture in a completely new way, that wasn't done before… how do you call that?.

RH: Why do I do it?

DG: Because you're looking for the lightest way to do it.

RH: Because I had to build the house! I didn't want to pour concrete on the ground I didn't want it all over in the forest. I wanted to be able to pick something up and put it there, make it, fast and quick and nice to use and nice to touch, like my catamaran, I can put it together myself very quickly, why can't I do a building like that?".

. . . . . .
Diego Garcia-Setién Terol. *Trans-arquitectura: imaginación, invención e individuación del objeto técnico arquitectónico: transferencia tecnológica desde la industria del transporte al proyecto arquitectónico (1900-1973)*. Tesis Doctoral. Directora: Almudena Ribot Manzano. 2016.

3.5. ESQUELETO Y PARED

.....

La llegada de la modernidad traerá consigo un sistema constructivo basado en el esqueleto independiente y en la pared no portante.

A estas alturas la unión en apoyo simple habrá desaparecido. Las nuevas uniones resistentes deberán dar respuesta a fuerzas de orientación y naturaleza múltiple.

Los avances técnicos permitirán ampliar la dimensión máxima del elemento estructural singular.

La pared, en sus dos variantes de sección multicapa o de elementos de entramado y entrepaño, deberá responder a un mayor número de exigencias cualitativamente diferentes, y la junta alcanzará un alto grado de especialización y complejidad.

Acero, vidrio y hormigón pasarán a ser los materiales esenciales, introduciéndose progresivamente otros nuevos materiales artificiales que provocarán la descomposición de los esfuerzos en la unión, llegando en el extremo de sus posibilidades a la sustitución completa de las piezas engranadas en la junta por un elemento compuesto de un único material.

El hierro ya se había utilizado como material de construcción en la antigüedad, adoptando en general un papel secundario empleándose para funciones muy concretas como la conformación de las llaves de unión de las fábricas. La aplicación del hierro y del vidrio a gran escala será uno de los detonantes del profundo cambio que traerá la modernidad.

En 1855 Henry Bessemer inventa el convertidor que lleva su nombre y que transforma el mineral de hierro fundido en

hierro o en acero mediante la regulación de la cantidad de carbono. En 1857 aparece el sistema Martin Siemens como perfeccionamiento del Convertidor Bessemer. Los dos sistemas favorecerán la producción controlada de hierro y acero.

El hormigón armado in situ pasará a ser el material estructural más empleado al resolver con la simbiosis acero más hormigón todos los requerimientos estructurales tanto dimensionales - luces, cantos etc.- como de estabilidad a esfuerzos horizontales y capacidad de carga. Todo ello con una relación coste/prestaciones muy competitiva respecto a materiales como el acero en perfiles o la madera. De nuevo un sistema continuo con carácter monolítico e hiperestático, demolible, no desmontable.

La industria pasará a tener un papel fundamental en la construcción de la era moderna. Se trata de aplicar la división del trabajo, el principio de intercambiabilidad y los métodos de la fabricación en serie, con el fin de obtener soluciones rápidas, eficientes y de mayor calidad que las obtenidas en épocas anteriores.

Frente a la industrialización como reunión de sistemas independientes no siempre compatibles entre sí, a mediados del siglo XX surgen algunas propuestas que pretenden la industrialización completa del edificio como sistema íntegro en la búsqueda de un modelo que buscará repetirse.

En este contexto, la casa aislada representa el primer objeto para la experimentación de nuevas ideas dirigidas a la producción industrial. Durante el siglo pasado, experiencias como las de Wachsmann, Kocher & Frey, Prouvé o Fuller resultaron en prototipos que pretenderían la industrialización íntegra de la vivienda. Finalmente, estos intentos no prosperaron. Las casas Su-si y Fred de Kaufmann 96, la R128 de Werner Sobek, la Ecoms House de Riken Yamamoto o el

Aluminium Cottage de Toyo Ito entre otras, se presentan como los primeros prototipos de viviendas aisladas industrializadas de principios de este siglo, que tratarán de dar respuesta a nuevos desafíos ambientales.

3.5.1. DEL ESQUELETO Y PARED HACIA LOS ENTRAMADOS

.....

Tras su prudente actuación en la arquitectura de la Antigüedad y de la Edad Media del mundo occidental, que dejaría sin embargo impresionantes ejemplos de maestría y destreza, la madera tendría un papel protagonista en algunos de los episodios de los años de gestación del proceso de industrialización de la arquitectura.

El primer episodio a que nos referimos es evidentemente la "conquista del Oeste": el "balloon frame" supondría la sustitución del método tradicional de construcción con madera basado en la unión de postes y vigas mediante la especialización y modificación del extremo de las piezas, por la construcción a base de idénticos listones verticales arriostrados con delgadas tablas y unidos con clavos, sustituyendo las costosas uniones tradicionales por otras más baratas y eficientes.

Esto supondría una verdadera revolución, pues el sistema requería menos mano de obra y menos cualificación y en consecuencia ciudades enteras fueron construidas en solo un año en Estados Unidos utilizando este método.

El posterior desarrollo industrial sería clave en la generalización del nuevo sistema constructivo, pues la máquina de vapor sería capaz de aserrar madera a gran velocidad para obtener elementos estandarizados y los clavos forjados se sustituirán por clavos al corte de producción automatizada.

En definitiva, el nuevo sistema simplificaba el proceso, reducía los recursos necesarios tanto humanos como materiales, ahorraba costes, mejoraba la rigidez estructural y utilizaba elementos continuos respetando la naturaleza del material, lo que permitía reducir las escuadrías de los elementos al máximo.

El éxito del "balloon frame" se prolongó en las casas por catálogo americanas. Sears Roebuck and Co. llegaría a ofrecer al mismo tiempo medio millar de modelos de viviendas unifamiliares prefabricadas, cuyo mayor acierto residía en explotar las técnicas existentes ya probadas para lograr una rápida ejecución, empleando el método 'do it yourself', siguiendo unas instrucciones de montaje que eran entregadas al realizar la compra.

La casa se habría convertido de este modo en un artículo de venta al público listo para ensamblar y el "balloon frame" sería el sistema que habría facilitado el proceso.

El segundo episodio a recordar es el desarrollo de la madera laminada, cuya producción industrial se inicia también en los Estados Unidos, a finales del siglo XIX, pero cuyo gran impulso se debe a su aplicación a la construcción de aviones para la Segunda Guerra Mundial, como el "Mosquito" inglés.

La escasez de metal en los años treinta impulsó su utilización para la fabricación de fuselajes, dando lugar a una de las estructuras superficiales ligeras más avanzadas



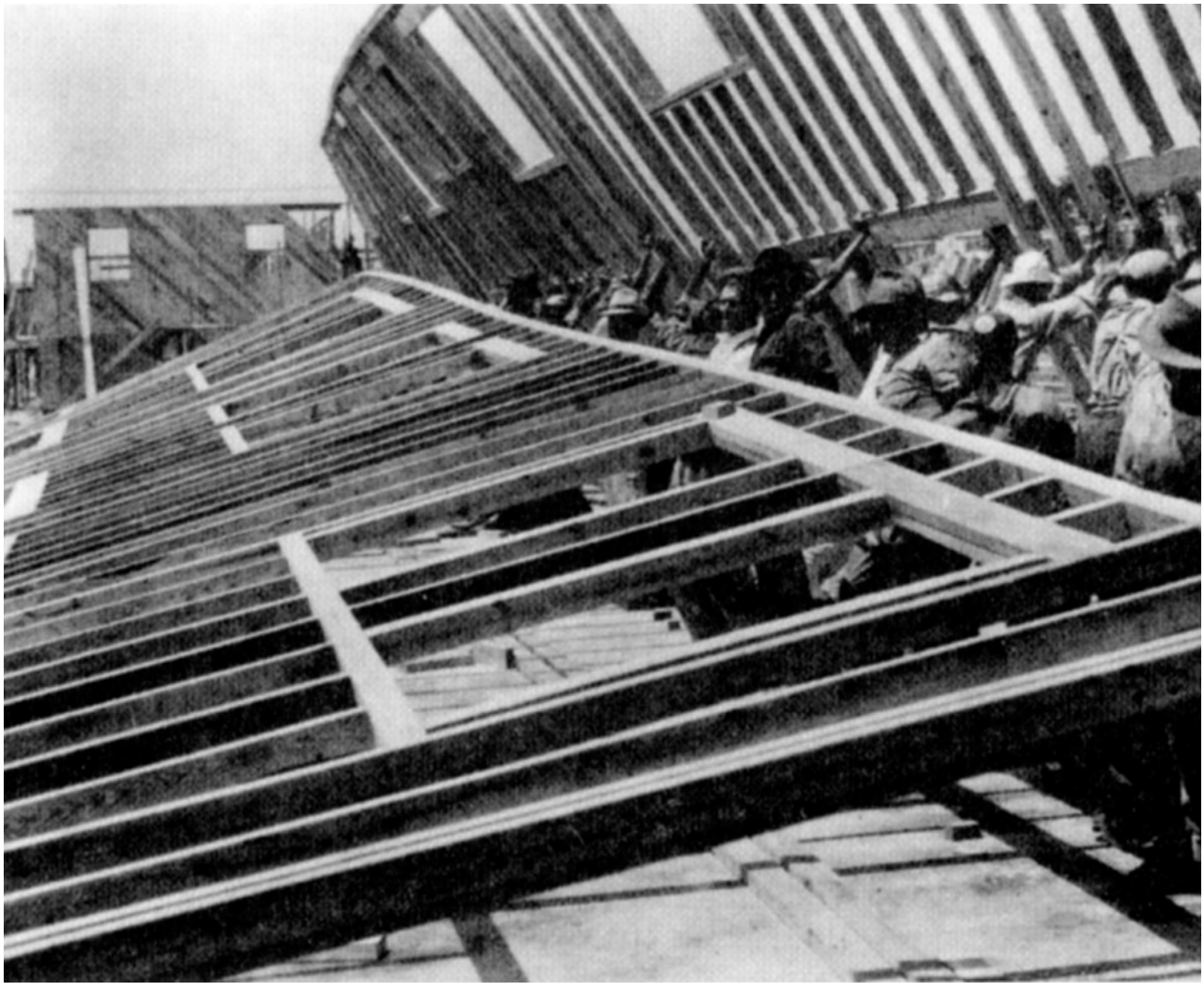
3.5.1.a
10 hombres construyendo una vivienda con el sistema *balloon frame*, Omaha Reservation, Nebraska, 1877. The Digital Research Library of Illinois History Journal.

Una de las primeras publicaciones en las que se hace mención al sistema Balloon Frame es la revista *The American Agriculturist* (Feb 1846) que presenta el sistema como "A cheap Farm-House" y lo describe del siguiente modo: "… sin ninguna caja ni espiga en la estructura (excepto los durmientes), muy ligera, unida con clavos, muy estable, tan buena y más barata que las estructuras habituales."

realizadas con madera, el monocasco, una superficie en la que las planchas de madera se unían mediante adhesivos formando tableros contrachapados que se moldeaban a presión en conclave y se solapaban mediante juntas de empalme.

Rechazado inicialmente por su aparente fragilidad, el Mosquito resultó ser uno de los aviones operacionales más ligeros, fiables y veloces del mundo.

Ambas tecnologías, que inauguraron una nueva filosofía basada en la reducción de secciones y el ensamblaje con adhesivos, han tenido un potente desarrollo y una participación decisiva en la construcción de viviendas unifamiliares y de los sistemas estructurales de medianas y grandes luces que vinieron después.



3.5.1.b
Sistema *Balloon Frame*.
Augustine Taylor 1833.

Otra de las primeras apariciones del Ballon Frame es en la publicación *Woodwards Country Homes* de 1865 que presentaba casas americanas e incluía un capítulo entero a modo de manual constructivo dedicado al Balloon Frame.

3.5.2. ESQUELETO Y PARED EN HIERRO Y VIDRIO

.....

En 1851 se construye en Londres, con motivo de la celebración de la Exposición Universal, una de las obras más importantes de los inicios de la era industrial: el Palacio de Cristal de Joseph Paxton. El edificio se convertiría en pieza clave de la arquitectura moderna al emplear el hierro fundido y el vidrio a gran escala, con una rotunda lógica aditiva modular, proponiendo una estandarización de elementos que se correspondería con el nuevo sistema productivo industrial. Esta construcción pasaría a ser la estructura metálica de mayor tamaño construida desde el comienzo de la Revolución Industrial.

Paxton no contaba con ninguna formación como arquitecto o ingeniero, así que aplicaría sus conocimientos sobre la construcción de invernaderos al diseño del nuevo edificio. Además, integraría las posibilidades de la industria del momento, las ventajas de la modulación y los últimos avances en instalaciones hidráulicas y mecánicas. Su diseño se basaría en una solución arquitectónica definida en términos tecnológicos.

Llama la atención que, en la presentación de la propuesta, Paxton se centrara principalmente en la descripción de los distintos componentes constructivos, en su producción y montaje, y, sobre todo, en el programa de construcción ideado para poder llevar a cabo la inmensa obra.

En solo ocho días el diseño inicial estaría listo. Se trataría de un edificio desmontable formado por tres volúmenes escalonados por medio de pórticos a gran altura a los que se añadiría una nave transversal con una bóveda. El conjunto tendría una base rectangular de 1.848 pies de largo por 408 de ancho, e integraría una retícula modulada que seguiría la distancia entre los soportes exteriores de 8 pies, unos 2,45 metros. El módulo interior se correspondería con el triple de esta distancia, con lo que la distancia entre pilares interiores sería siempre múltiplo de 24 pies.

El módulo de 8 pies se habría obtenido a partir de los cálculos estructurales y del tamaño que debían tener los elementos constructivos que deberían poder ser producidos en serie.

El alto grado de seriación y tipificación empleado en esta obra permitieron emplear un número mínimo de elementos diferentes llegando incluso a variar el espesor de las paredes de algunos componentes para evitar la introducción de elementos nuevos. Para ello, se llevó a cabo un detallado estudio de cada pieza obteniendo la máxima optimización del material y un profundo conocimiento de su comportamiento. A esto hay que añadir el importante ahorro en la conformación de moldes y en el tiempo de construcción: el montaje de la estructura se realizó en tan solo cuatro meses.

En su construcción se emplearon 3.300 columnas portantes, 3.300 conductos de drenaje, 2.224 vigas principales, 24 millas de canalones de madera, 3.800 toneladas de hierro fundido, 700 toneladas de hierro forjado y 83.612 m2 de vidrio.

La fachada se construyó a base de paneles de vidrio del máximo tamaño disponible en el momento, 12 por 49 pulgadas, que fueron empleados tanto en los planos verticales como en la cubierta. Su anchura se correspondía con 1/8 del módulo, y su longitud era tal que al disponerse inclinadas para la realización de la cubierta abarcaban exactamente la distancia de 8 pies. Ayudados por una plataforma móvil que evitaba a los operarios situarse sobre los vidrios, los vidrios se montaban mediante piezas de madera, convirtiendo a la cubierta en una superficie con pequeños dientes de sierra.

La seriación se aplicó también a la estructura, ajustando la resistencia y cantidad de material de cada pieza a los esfuerzos, facilitando de este modo la producción de los elementos y su montaje. Las columnas de fundición, vacías por dentro, conservaban su forma exterior al tiempo que presentaban distintos grosores de pared. Las vigas de celosía, de 3 pies de canto, unos 90 cm, se emplearon en la mayoría de los elementos estructurales horizontales.

La estructura presentó problemas de estabilización horizontal y movimientos térmicos asociados al material empleado y a la impresionante dimensión de la construcción. El edificio, desmontable, lineal, diáfano, con una fachada ligera formada a base de bastidores de hierro y madera, y con estructura de fundición, confió su desmontabilidad, rigidez y la absorción de sus movimientos térmicos al diseño de su nudo celosía-pilar.

Esta unión estaba formada por cuatro engarces inferiores y cuatro superiores entre los que se conectaban cuatro celosías, que serían fijadas mediante cuñas. En la dirección de los pórticos principales las cuñas eran de hierro fundido. En la dirección longitudinal las celosías únicamente arriostraban el conjunto, y las cuñas se realizaron con hierro fundido y con madera de roble esperando que la deformación de estas últimas permitiera absorber los movimientos térmicos del edificio. Pero el sistema no funcionó correctamente.

Las celosías se sometieron a pruebas de carga previas a su montaje [69], sin embargo, no se realizó ningún ensayo con las vigas ensambladas en los pilares. El diseño de la unión resultó complicado al contar un material, el hierro fundido, que además de ser frágil, solamente tiene buenas prestaciones resistentes sometido a fuerzas de compresión centradas.

Como solución se optó por introducir algunas diagonales en planos verticales del edificio, que contribuían a que los pilares trabajaran fundamentalmente a compresión superando el inconveniente anteriormente expuesto. La estabilidad horizontal quedaba entonces resuelta con la combinación del nudo semirrígido y de diagonales de arriostramiento.

69
M.D. Wyatt. *On the construction of the building for the exhibition of Industry of all Nations*", Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers, nº10. 1850- 1851

En 1854, cuando el edificio fue desmontado y reconstruido de nuevo en Upper Norwood, al sur de Londres, se colocaron más diagonales de arriostramiento. Pese a todo esto la estructura sufriría un colapso parcial.

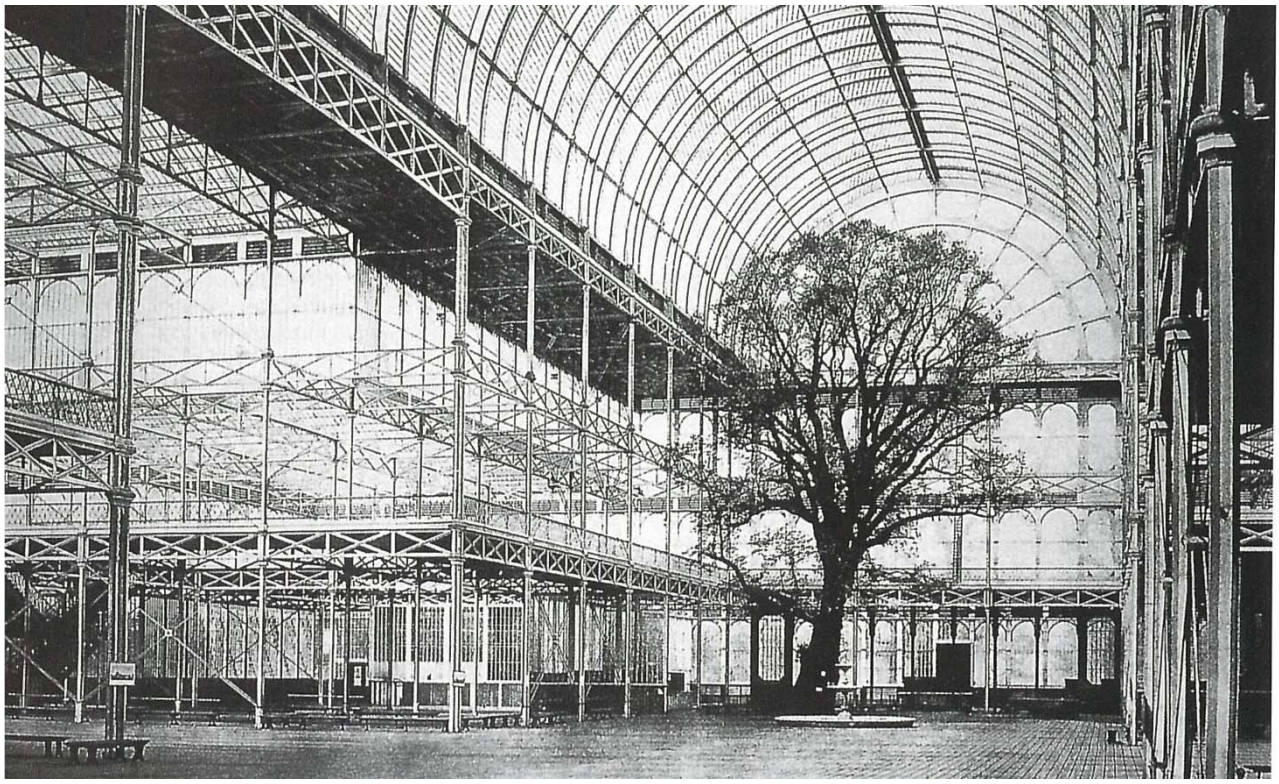
El edificio tendría una influencia determinante en otras construcciones posteriores, algunas de ellas construidas por los mismos autores o colaboradores que habían participado en el Palacio de Cristal.

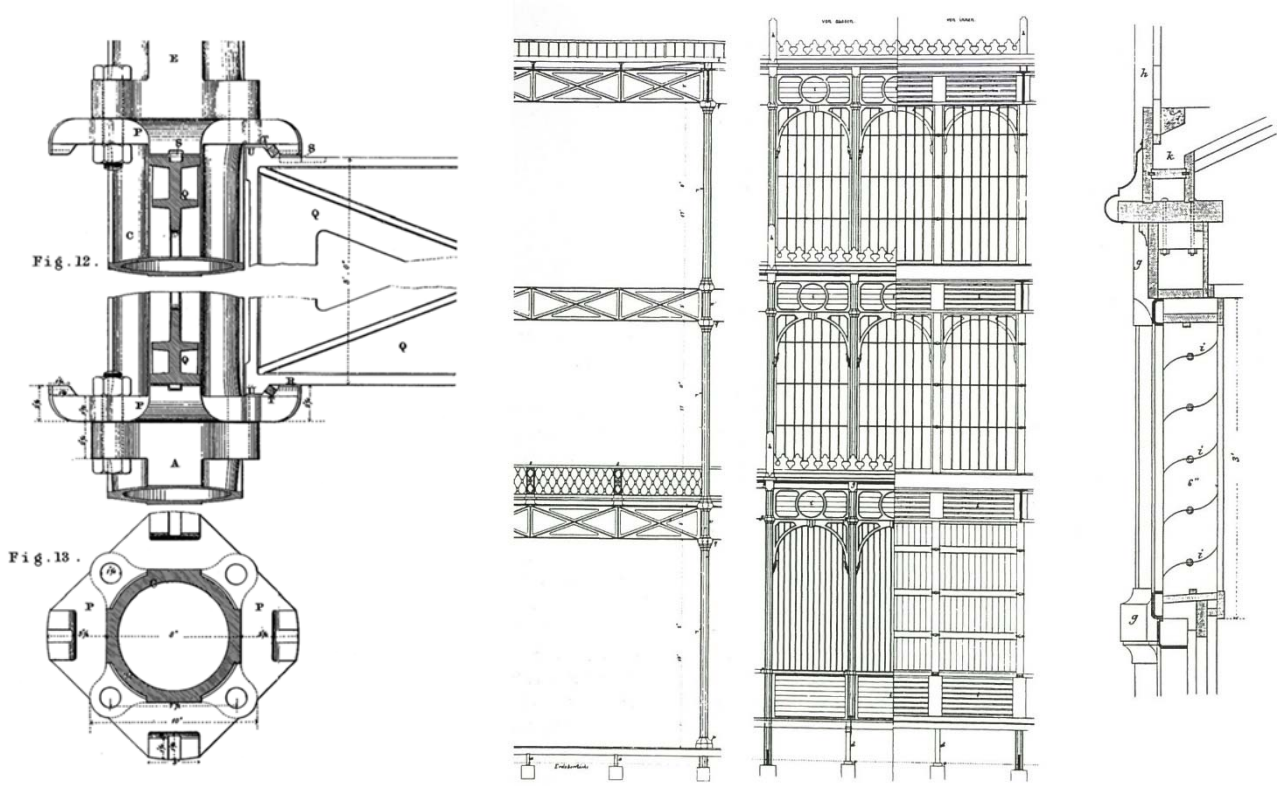
El Munich Kristallpalast fue levantado en 1853 por August von Voit y Ludwig Werder. De dimensiones más modestas que el Palacio de Cristal y construido con intención de ser permanente, presentó una estabilidad notablemente superior consecuencia de una mayor rigidez de los nudos que conectaban las celosías con los pilares.

En el Astillero Chatman nº7 Slip de la Royal Navy inglesa, construido entre 1852 y 1854, introdujo por primera vez las secciones en H en unos pilares. Esto supuso una importante innovación en aquel momento. Además, la estabilidad horizontal se obtenía a través de cruces de San Andrés. El edificio todavía se conserva.

El Palacio de Cristal supondría el paso de los sistemas de entramados metálicos estabilizados por muros perimetrales de fábrica a la formalización de pórtico rígido autoestable. El cerramiento se desvanece y pierde su función estructural en el edificio. Por otro lado, la construcción supuso un campo de experimentación en el que se pusieron a prueba soluciones estructurales. Se intentó resolver la desmontabilidad, la rigidez y el comportamiento térmico del conjunto con un único detalle, pero fue demasiado y el detalle no funcionó correctamente.

El Palacio de Cristal supuso un avance fundamental en el camino de la industrialización y el aligeramiento constructivo, no tanto por el empleo de materiales innovadores o por los sistemas constructivos empleados, si no por el triunfo de un desarrollo racional apoyado en planteamientos técnicos.





3.5.2
Joseph Paxton. *Palacio de Cristal (Crystal Palace).* Londres. 1851. Robert Mallet y Christian Schittich.

Superior: fotografía de la intersección de la nave con el transepto abovedado. Autor desconocido. Inferior: detalle del nudo celosía-pilar (Mallet, 1862).y detalle de fachada y ventilación (Schittich, C. & Detail, 2007 P 20).

3.5.3. ESQUELETO Y PARED Y LA COHERENCIA TÉCNICA

.....

La Aluminaire House fue diseñada en 1931 por Kocher & Frey. La casa supone uno de los más claros ejemplos la construcción de viviendas por componentes ligeros realizada siguiendo el esquema de esqueleto estable más cerramiento de comienzos del siglo XX.

El primer ensamblaje de la casa se realizó en el Grand Central Palace de Nueva York, con motivo de la 45 exposición anual de la Architectural League. Su ubicación más larga y conocida fue en la localidad de Syosset en Long Island.

Su estructura estaba formada por seis tubos de aluminio de 12 cm de diámetro que conducían el peso de la casa hasta las zapatas de hormigón. Vigas laminadas de acero, ancladas a los soportes, sostenían las viguetas de acero aligeradas sobre las que se colocaba un forjado de chapa de acero laminado, sobre éste un tablero aislante y finalmente un último revestimiento de planchas coloreadas de linóleo "Armstrong". La escalera también se resolvía con acero.

Las paredes no estructurales protegían y aislaban el espacio interior. Su construcción se basaba en un ligero marco de acero clavado al entramado de madera y revestidos por tableros aislantes de 1 cm de espesor, resultando un muro de tan solo 7,5 cm de espesor, que según los arquitectos sería más efectivo térmica y acústicamente que un muro tradicional de fábrica de 33 cm de espesor.

En la casa en Long Island diseñada unos años más tarde también por Kocher & Frey, los arquitectos emplearon papel de aluminio formando una membrana con aire en el interior de la pared de10 cm de espesor, así como en el forjado y en la cubierta. El producto lo comercializaba una empresa llamada Infra Insulation Inc. de Nueva York.

Las paredes de la casa Aluminaire se cubrían al exterior con papel embreado, que impermeabiliza la superficie, y con chapa de aluminio ondulado, fijado con tornillos y arandelas del mismo material. La chapa presentaba estrechas ondulaciones que proporcionaban a la hoja la rigidez suficiente.

Las ventanas eran de vidrio “ultravioleta” con carpintería de acero, y las hojas y cercos de las puertas también de acero con herrajes cromados.

Las paredes interiores estaban terminadas en un tejido de colores tipo “Du Pont” fácilmente lavable. Las paredes del baño serían de “Vitrolite” negro y del inodoro de “Lumariz”, material ignífugo y translúcido.

El mobiliario sería parte integral de la casa. Todos los acabados de la casa que están al alcance de la mano son de metal blanco. La barandilla es de aluminio y los herrajes de puertas y ventanas están cromados.





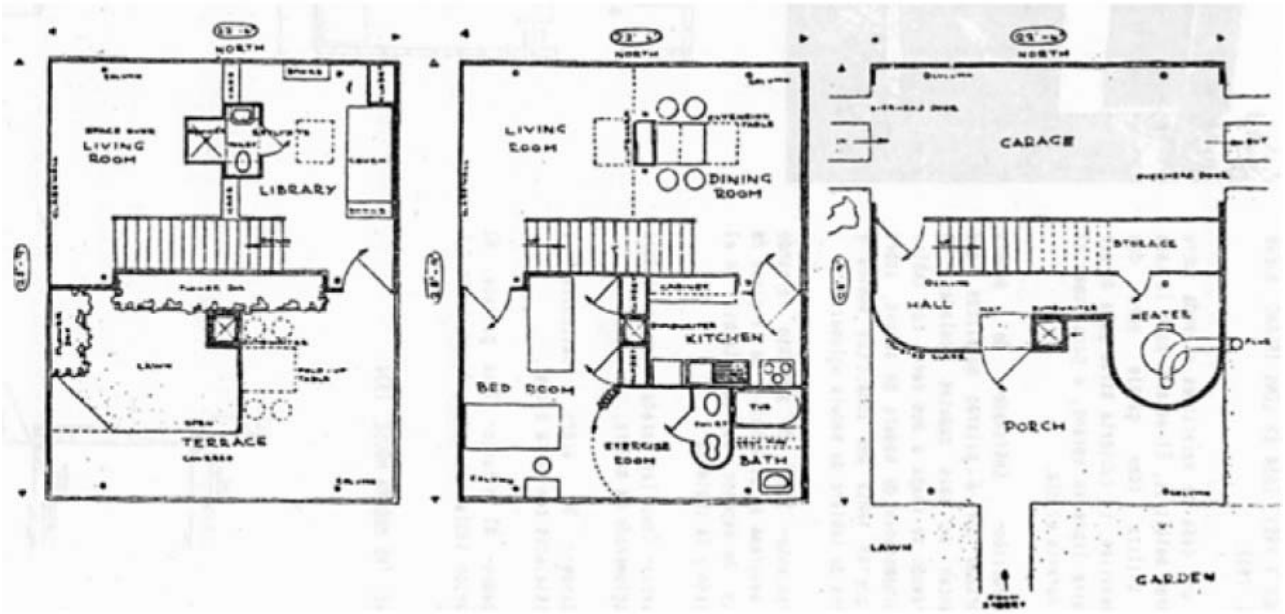
3.5.3.a
Kocher & Frey. *Aluminaire House*. 1931 en F. R. S. Yorke, *The modern house*. The architectural press. Londres 1934. Modern Mechanix.

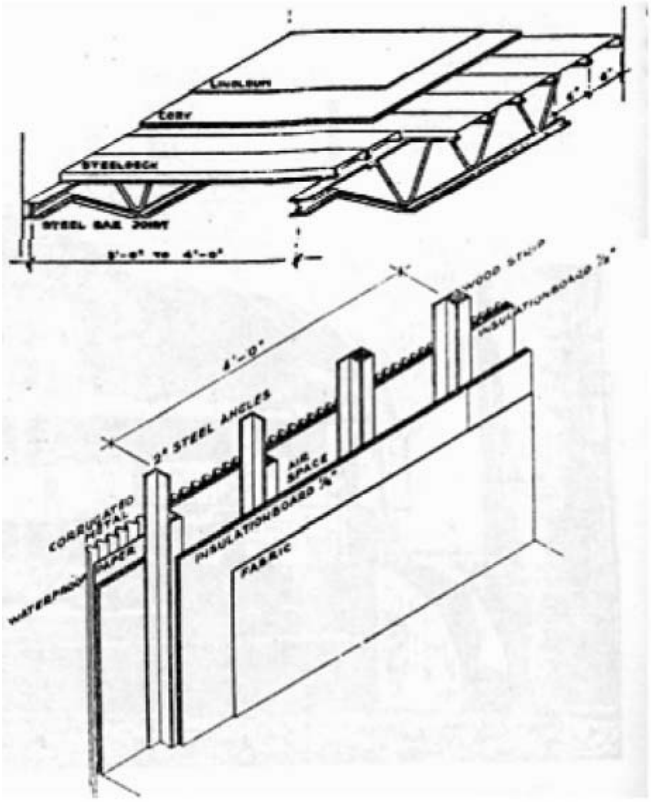
La casa fue construida en solo 10 días para la exposición de Allied Arts and Building Products, organizada conjuntamente con la 45° exposición de la Architectural League en Nueva York, siendo el único edificio a escala natural de la muestra. La casa experimental fue construida con los últimos materiales tecnológicos de la industria.

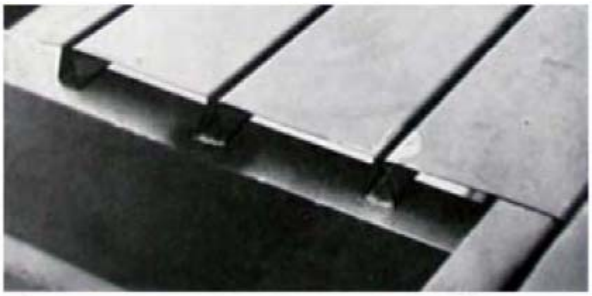
Al terminar la exposición, el arquitecto Wallace K. Harrison compró la casa por 1.000 dólares y la trasladó en barco a Long Island para ser usada como refugio de fin de semana. La casa fue desmantelada en sólo seis horas. Al igual que para la exposición, se tardó nuevamente 10 días en montarla. Posteriormente en 1987 se volvería a trasladar al campus del New York Institute of Technology.

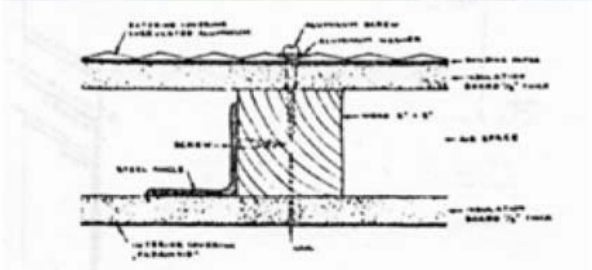
La vivienda destacaría dentro del amplio catálogo de casas industrializadas de la época por la asombrosa ligereza de sus componentes y por su facilidad de montaje y desmontaje.

Las casas construidas por Kocher & Frey muestran una coherencia técnica y constructiva que no esconde detalles ni elementos, permitiendo una lectura perfecta del sistema construido.









DETAILS OF WALL CONSTRUCTION



3.5.3.b
Kocher & Frey. *Aluminaire House*. 1931 en F. R. S. Yorke, *The modern house*. The architectural press. Londres 1934. F.R.S. Yorke. Aluminaire.org.

Al acabar la feria la casa fue trasladada a Long Island para ser usada como refugio de fin de semana. Se desarmó en solo seis horas, y se numeraron todas las piezas para facilitar el nuevo armado. Tras ser llevada por barco estuvo a la intemperie y una fuerte tormenta borró todas las numeraciones. Se tardó nuevamente 10 días en montarla.

3.5.4. ESQUELETO Y PARED Y EL CONECTOR X

.....

La Packaged House de Konrad Wachsman y Walter Gropius no es un caso más entre las propuestas de industrialización propias de su época, basadas fundamentalmente en el empleo de estructuras metálicas ligeras, sino que debe considerarse como un ejemplo maduro de una tradición anterior: la construcción con paneles prefabricados de entramado ligero de madera común a ambos lados del Atlántico, pero especialmente enraizada en la práctica americana del "balloon frame".

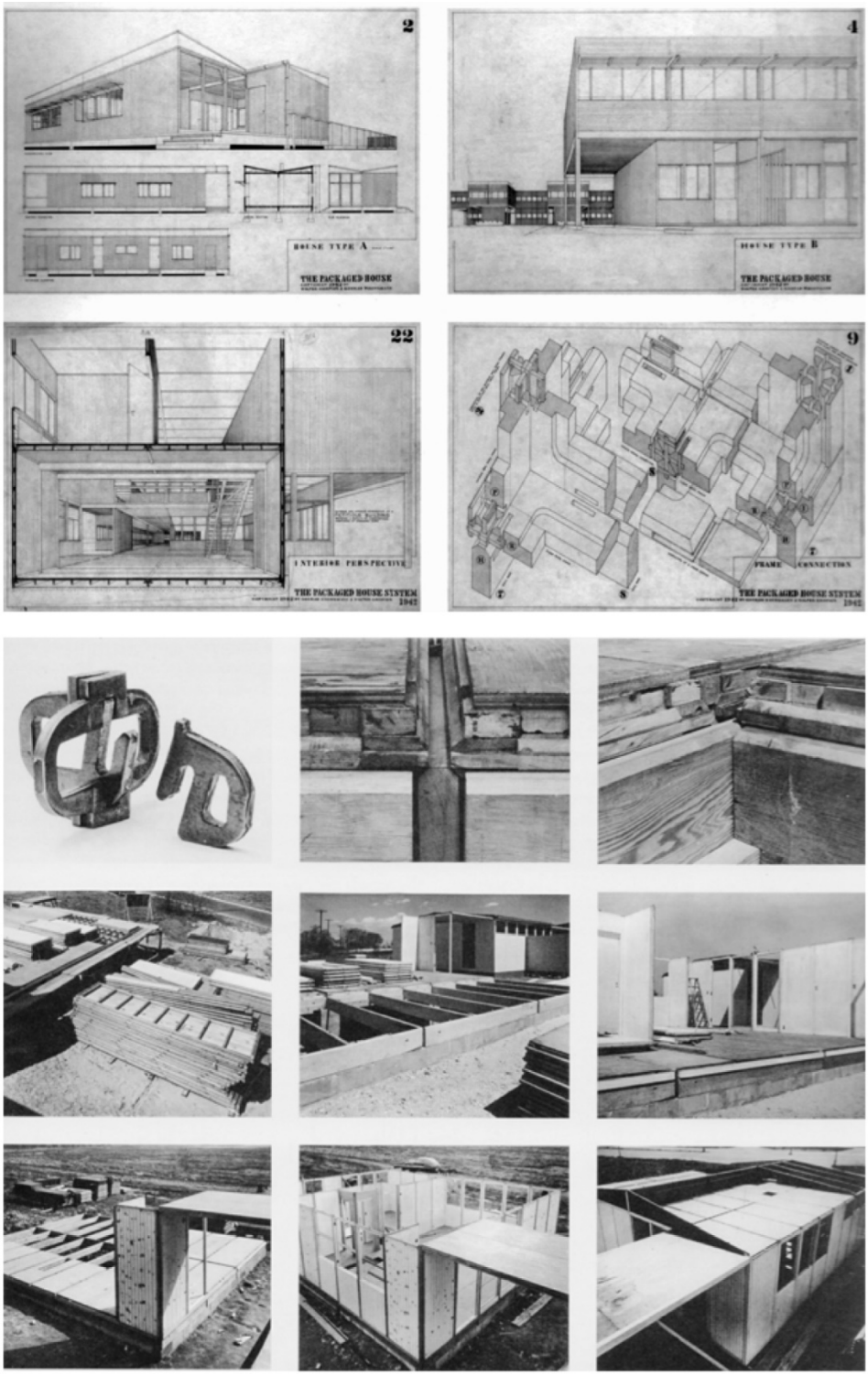
Apoyado por Gropius, Wachsmann, que había llegado a Estados Unidos en 1941, partió de su importante bagaje técnico adquirido en el diseño de casas de madera en la empresa Christoph Unmack desde finales de los años 20 (incluida la vivienda de Einstein en Postdam), para proponer un nuevo sistema adaptado a los requerimientos locales.

Con este fin, renunció a diseñar un prototipo cerrado, optando por desarrollar un catálogo de piezas compatibles con diversas distribuciones. Fundado en una estricta modulación y en la repetición universal de una serie limitada de juntas, el sistema contaba con una gama de 10 paneles diferentes de 40x120 in (1x3 metros aprox.) que podían combinarse horizontal y verticalmente para formar las diferentes configuraciones espaciales.

Sin embargo, esta investigación modular no resultó suficiente para que se concediese una patente americana al sistema en su conjunto, aunque si la obtuviese el conector para los paneles, una pieza plana en forma de X mucho más versátil que los tradicionales nudos espaciales en Y.

A pesar de ello, en 1943 pudo montarse un prototipo del sistema en Somerville, Massachusetts, que, pese a las críticas, acabó convenciendo a los inversores para encargar la producción de las casas (prevista en 8.500 unidades al año) a una antigua fábrica aeronáutica, constituyéndose asimismo una empresa para su comercialización, la General Panel Corporation.

Desgraciadamente, en su aplicación real, el sistema resultó demasiado rígido para admitir las tolerancias exigibles en la puesta en obra, por lo que dejó de fabricarse en 1952.



3.5.4
Packaged House. Konrad Wachsman y Walter Gropius. 1941. Architectural Forum. February 1947.

Un sencillo sistema de conexión permitía la unión en cuatro direcciones, es decir, esta misma unión era utilizada tanto vertical como horizontalmente, en uniones tanto de cerramientos entre sí en varias direcciones como de suelos y particiones entre sí. Los paneles se ensamblaban con este discreto sistema durante su construcción, de manera que la vivienda tomaba forma con la intervención de los clientes: éstos formaban parte del proceso de diseño.

3.5.5. ESQUELETO Y PARED EN LA CASA DE ACERO

.....

Tras la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos experimentó la mayor escasez de viviendas de su historia. Los empresarios vieron entonces la oportunidad de que la industria de producción de casas propulsara la delicada economía de posguerra, al igual que la industria del automóvil lo hiciera en los años 20. El "National Housing Expediter", perteneciente a la Reconstruction Finance Corporation (RFC), sería una figura creada por Truman para revisar las subvenciones concedidas para la construcción de viviendas, que tendrían que ser rápidas de construir y baratas. Este hecho propulsó enormemente el potencial de producción de la casa prefabricada en Estados Unidos.

Muchas de las fábricas de viviendas que surgieron entonces seguirían los pasos de Sears Roebuck and Co. ofreciendo casas con un aspecto completamente tradicional. Sin embargo, un tipo de vivienda muy distinto llegaría de la mano de Carl Strandlund, quien recibió 40 millones de dólares del gobierno para producirla.

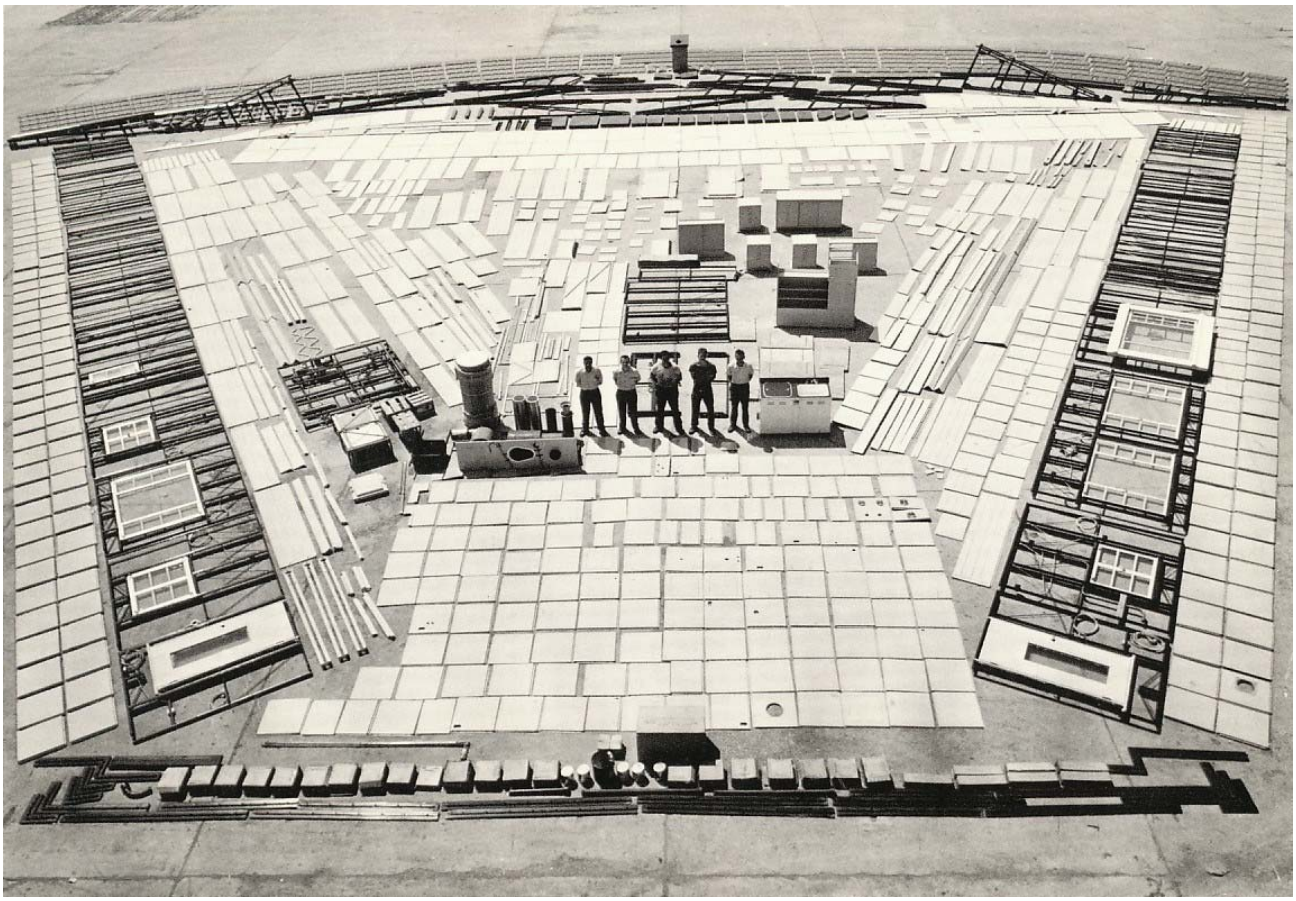
Strandlund era un inventor sueco de utensilios agrícolas. Tenía en su haber alrededor de 150 patentes. Tomando el interés de la RFC de garantizar la supervivencia de la industria del acero que se encontraba en una situación crítica tras la guerra, Strandlund propuso al gobierno una casa prefabricada construida completamente con acero. Para ello emplearía los sistemas prefabricados que su compañía, Chicago Vitreous Enamel, utilizaba en las estaciones de servicio.

Uno de los motivos por los que Strandlund propuso una vivienda en acero fue el coste. Él confiaba que la producción de la casa costara menos que la fabricación en masa de viviendas de madera como las que William J. Levitt estaba desarrollando para Levittown. Para producir sus casas en acero compraría una fábrica de aviones de guerra en Columbus, Ohio, y aprovecharía la maquinaria existente allí para hacer viviendas en lugar de aeronaves.

Su primera casa mediría unos 32 pies cuadrados, y descansaría sobre una cimentación de hormigón in situ. Sobre ella descansaría un marco estructural de acero que soportaría las cerchas de cubierta colocadas cada 4 pies. Todas las divisiones interiores eran prefabricadas. El exterior estaba rematado con paneles cuadrados de dos pies de acero con porcelana esmaltada, muy duradera y que permitiría un buen mantenimiento.

Toda la vivienda era entregada en un camión. Su montaje era sorprendentemente rápido, tan solo duraba ocho días. La casa resultó ser, sin ninguna duda, un producto industrial.

La euforia inicial no duraría demasiado. En 1949, las ventas se redujeron drásticamente ya que las casa resultaron entre un 30% y un 50% más costosas que el proyecto inicial. En lugar de las cien pactadas, la fábrica realizaba sólo unas 20 al día.



3.5.5.a
C.G. Strandlung + Lustron Corp. *Lustron House*. 1948. P. Christensen. *Fabricating the modern dwelling*. Birkhäuser. MOMA. 2008.

La fábrica de Lustron tenía aproximadamente ocho millas (12,8 km) de líneas transportadoras automatizadas e incluía 11 hornos de esmaltado, cada uno de los cuales tenía más de 180 pies (55 m) de largo. El equipamiento de la planta incluía prensas para moldear bañeras y fregaderos. Una casa completa constaba aproximadamente de 3300 piezas, cargadas en un solo remolque, que un camión transportaba hasta su lugar de construcción

La RFC proporcionó a Strandlund un último apoyo económico para intentar salvar a la compañía.

Mientras tanto, las casas se convirtieron en motivo de burla para algunos debido a su aspecto, que era habitualmente comparado con un puesto de perritos calientes o con una bañera de acero.

En 1950 Lustron Corporation se declaró en suspensión de pagos. La fábrica cerró sus puertas viendo producido unas 2.500 casas.



3.5.5.b
C.G. Strandlung + Lustron Corp. *Lustron House*. 1948.
P. Christensen. *Fabricating the modern dwelling*. Birkhäuser. MOMA. 2008.

Las casas eran consideradas unas edificaciones de bajo mantenimiento y extremadamente duraderas, con lo que se esperaba atraer a nuevas familias

3.5.6. ESQUELETO Y PARED Y LA GESTION DE LA INDUSTRIA

.....

Hasta comienzos del siglo XIX la tipología de escuela en Europa se correspondía con edificios civiles que contenían una única sala dedicada a la enseñanza. Desde 1820 nuevos centros educativos fueron construidos con habitaciones más pequeñas separadas con particiones, y más tarde separadas por cortinas. En torno a 1870 tuvo lugar en Inglaterra un auge de construcción de escuelas con diseños basados más en las demandas económicas y sociales que en la teoría educativa [70] .

De este modo, el diseño estándar hasta la década de 1920 se basó en el hall central, un gran salón rodeado de aulas más pequeñas, que por lo general tenían más de un piso para atender al creciente número de alumnos. Ya en el siglo XX, ante la preocupación por disponer de diseños más saludables, comenzaron a desarrollarse escuelas de una sola planta, con aulas subdivididas y ventilación cruzada, y también las llamadas escuelas pabellón, que comprendían una serie de pequeñas salas a lo largo de un pasillo, que podrían ser no más que una terraza abierta. En este período aparecieron también las primeras escuelas al aire libre.

La construcción de colegios se detuvo durante la Primera Guerra Mundial, animando más tarde a las escuelas a economizar utilizando edificios militares temporales en desuso. A finales de 1930, hubo un resurgimiento en la construcción de centros educativos que sería de nuevo obstaculizado por el comienzo de la Segunda Guerra Mundial.

Tras la Guerra, tuvo lugar un notable crecimiento de la tasa de natalidad y una ampliación de la edad de escolaridad obligatoria, lo que provocó la mayor expansión en la construcción de escuelas en Gran Bretaña desde mediados del siglo XIX. El desarrollo de nuevas técnicas, la revisión de los procedimientos de construcción, y una estrecha cooperación entre los arquitectos y las autoridades locales fueron las piezas clave de la renovación de la arquitectura escolar de aquel momento.

En 1954 Ezra Ehrenkrantz se desplaza a Inglaterra con una beca Fullbright para trabajar durante dos años en la Building Research Station en el Condado de Hertfordshire.

Allí, la oficina de arquitectos del condado, en colaboración con los arquitectos de las diferentes escuelas, habían comenzado a desarrollar desde 1946 un sistema de componentes constructivos prefabricados capaz de dar respuesta a la variada y sustancial cantidad de escuelas incluidas en el programa, resolviendo así con éxito la enorme necesidad de nuevos centros educativos en Inglaterra durante la posguerra.

Más de 400 escuelas fueron construidas utilizando estos componentes industrializados en el condado de Hertfordshire. Programas análogos fueron también desarrollados en otros condados de Inglaterra. Más tarde estos sistemas serían exportados al resto de Europa dando lugar a una gran variedad de sistemas

70
Institute of Education Archives Subject Guide No. 1. School Architecture and Design. Institute of Education. University of London. March 2009.

constructivos para edificios educativos que se desarrollarían al mismo tiempo que los sistemas para la construcción de vivienda colectiva a los que se les había dado prioridad en el resto del continente.

Varios factores condujeron al éxito al programa. Cada condado en Inglaterra disponía de un programa para la construcción de escuelas con el tamaño adecuado para permitir el desarrollo de su propio sistema constructivo, que sería aplicado en un amplio número de centros, ofreciendo así a la industria un mercado apto para apostar por la innovación. Los arquitectos diseñarían cada edificio dentro de un vocabulario predeterminado, que podría cambiar para el diseño del siguiente gran grupo de escuelas.

El resultado fue bueno. Las necesidades iniciales fueron resueltas dentro de un plazo y con un coste adecuados muy difíciles de conseguir con otros medios, y todo ello preservando los recursos destinados para la reconstrucción de viviendas.

Demostrada la efectividad del modelo, Ehrenkrantz pensó que este acercamiento podría aplicarse a la construcción de escuelas en Estados Unidos. Pero las condiciones en Inglaterra diferían de aquellas existentes en Estados Unidos: ninguna entidad educativa era aquí lo bastante grande como para permitir el desarrollo de un sistema en el que la industria asumiera la fabricación de los componentes.

Además, cada arquitecto trabajando por separado para cada distrito escolar proporcionaba mejor servicio y obtenía construcciones con mayor calidad que cualquier agencia gubernamental asumiendo el mando. Pero, al mismo tiempo, existía en aquel momento en Estados Unidos una enorme necesidad de cambio en el diseño de escuelas que se ajustara a los nuevos patrones de enseñanza.

Entre 1958 y 1961, ya en Estados Unidos, Ehrenkrantz intenta despertar el interés de varios distritos escolares y otras instituciones para apoyar el programa aprendido en Inglaterra.

En 1960 el gobierno Rockefeller inicia en el estado de Nueva York tres planes directores para la construcción de escuelas de enseñanza elemental, media y superior. Estos planes provocaron la reacción de la profesión. Una conferencia organizada en septiembre de 1961 por la revista Architectural Forum y Educational Facilities Laboratories Inc. (EFL), corporación de la Ford Foundation, fue el punto de inflexión. En ella, Ezra Ehrenkrantz, Harold Gores (Presidente de de EFL) y Jonathan King (Secretario de EFL) plantean la producción en masa de componentes estandarizados como la mejor alternativa ante la variedad de soluciones y la flexibilidad requerida por arquitectos y educadores para las nuevas escuelas. Charles Gibson, Jefe de la Oficina Estatal de Planeamiento Escolar, y otros funcionarios del Estado de California darían respaldo a la propuesta, creando la base que haría posible el desarrollo del proyecto.

Como resultado de la conferencia 13 distritos escolares de California unirían sus esfuerzos en una nueva entidad conocida como "First California Commission on School Construction Systems" para desarrollar el proyecto "School Construction Systems Development" (S.C.S.D.) [71] .

La construcción de las escuelas de estos 13 distritos ofrecería un mercado lo suficientemente amplio, unos 1,4 millones de pies cuadrados, como para atraer a la industria. A su vez, el interés de estos distritos en formar parte de este programa era indicativo de las dificultades existentes para responder a sus necesidades dentro del limitado presupuesto estatal del que disponían.

Para continuar con el programa, y asegurar su participación, se desarrolló un procedimiento que permitiera a cualquier distrito escolar abandonar el proyecto en cualquier etapa del proceso si los requerimientos iniciales establecidos no incluían los necesarios para el desarrollo de cada una de las escuelas, si las especificaciones técnicas definidas para cada uno de los componentes del sistema no permitían el correcto desarrollo de las necesidades iniciales planteadas, si, en la etapa de revisión del proceso de licitación, que tendría lugar antes de la recepción de las distintas ofertas, se observaba que el diseño del producto no cumplía con los criterios técnicos acordados, si las ofertas no entraban dentro del presupuesto estatal correspondiente, o si las condiciones demográficas cambiaban de tal modo que no fuera necesario construir más escuelas.

Un equipo fue nombrado para trabajar con el personal y con los jefes de departamento de cada distrito escolar y establecer los requerimientos educativos básicos que debería reunir el sistema.

La flexibilidad se convirtió en el condicionante clave. Las necesidades de cada distrito se encontrarían con una única serie de componentes que en manos de un buen equipo de arquitectos podría ser aplicado en cada caso dando como resultado un diseño adaptado a las necesidades particulares de cada escuela.

Inicialmente, los requerimientos para la definición de los distintos componentes se organizaron en cuatro subsistemas: estructura, techo e iluminación, climatización y particiones. Los muros exteriores no estarían incluidos, ya que los colegios del proyecto S.C.S.D. no ofrecían un mercado lo suficientemente amplio como para permitir a los fabricantes el desarrollo de la variedad necesaria, que fue estimada en 14 distintas soluciones de fachada.

Posteriormente, a estos cuatro subsistemas básicos se añadirían los correspondientes a los armarios y a los puestos de laboratorio diseñados especialmente para ajustarse a las dimensiones modulares definidas.

71
Ezra Ehrenkrantz. *Architectural systems: a needs, resources and design approach*. Mac Graw-Hill, 1989

Una vez establecidos los requerimientos iniciales, éstos se tradujeron en una serie de especificaciones técnicas que pudieran responder de manera adecuada a las necesidades de cada escuela.

Esto se realizó siguiendo dos caminos paralelos. Por un lado, se establecieron los criterios técnicos que serían revisados por los agentes de la industria. Por otro, el equipo del proyecto trabajaría en el diseño de una serie de componentes adaptando distintos componentes constructivos convencionales existentes en la industria a las especificaciones particulares requeridas.

Este doble proceso fue un factor clave. Las distintas escuelas del proyecto serian construidas según unas especificaciones técnicas mucho más rigurosas que las definidas para estos centros hasta el momento. Los niveles de adecuación técnica exigida a las industrias para la definición los distintos componentes fueron llevados al límite, sin sobrepasar el coste establecido para el proyecto. En este sentido, muchos criterios iniciales serían adaptados durante el proceso para asegurar que cada distrito obtuviera el mayor beneficio por el dinero invertido.

Aprobadas las especificaciones técnicas, la fabricación de los componentes seria sacada a concurso para determinar a los proveedores del sistema y los detalles del mismo. Este proceso se realizaría en dos etapas, la primera relativa al diseño y la idoneidad técnica de cada componente, y la segunda en relación con la oferta económica.

En julio de 1963 la Comisión del Proyecto S.C.S.D. convocó en Stanford una conferencia previa a la licitación. Se trataba de que los posibles fabricantes de los distintos componentes hablaran entre ellos con el fin de facilitar la máxima compatibilidad de los sistemas. De este modo, la industria estaba asumiendo un papel que no estaba acostumbrada a desempeñar.

En el momento de la presentación de cada diseño el proyecto S.C.S.D. requería que cada compañía indicara aquellas otras que podrían fabricar componentes compatibles con sus productos, facilitando durante el segundo día de la conferencia la reunión de sus respectivos representantes. Las ofertas solo serían tenidas en cuenta si reunían a grupos de fabricantes que hubieran establecido la compatibilidad de sus sistemas. De este modo, se presentaría una única oferta para el sistema correspondiente a la estructura, otra para la climatización y otra para la iluminación. Las particiones, el mobiliario y el resto de componentes tendrían que adaptarse y ser a su vez compatibles con los anteriores.

Las ofertas finalmente recibidas quedaron por debajo del presupuesto determinado por la ayuda estatal para la construcción de colegios, además de mejorar las especificaciones iniciales requeridas: se proporcionaba una luz estructural media correspondiente al doble de la habitual para garantizar la flexibilidad requerida, particiones desmontables en lugar de fijas, una eficiente climatización y un sistema

de iluminación adaptado a las estrictas exigencias energéticas y presupuestarias iniciales.

El 3 de enero de 1964 la Comisión del proyecto S.C.S.D. designó a los seis fabricantes que serían los encargados de producir los distintos componentes del sistema. Un prototipo en el que realizar pruebas y ensayos a escala real en relación con la compatibilidad de la estructura, iluminación y el acondicionamiento térmico y acústico fue construido en el campus de la universidad de Stanford.

El 10 de diciembre de 1964 el Consejo de Dirección de la universidad se reunió en un discreto y elegante edificio del campus. A la mañana siguiente los miembros del Consejo se encontraron al entrar en el edificio en una gran sala con paredes acristaladas cuya característica más notable era, principalmente, que la tarde anterior no había estado allí. Los cambios que se produjeron en el edificio en la noche del 10 de diciembre constituyeron la primera prueba fehaciente del funcionamiento del sistema de componentes S.C.S.D..

Durante esa noche se retiraron 120 pies lineales de particiones de doble pared, se instalaron 25, y se retiraron y reemplazaron 80 pies de frente de partición; se reubicaron 300 pies cuadrados de falso techo e iluminación; siete sectores de aire acondicionado se redujeron a cinco, se retiraron dos termostatos del edificio y se cambió otro de lugar. En conjunto una renovación significativa, pero sólo requirió 59 horas hombre; 48 para cambiar de lugar las particiones, 6 para los falsos techos e iluminación, 2 para los ajustes de aire acondicionado, y 3 para limpieza.

Fue el primer ensayo real de si el sistema de componentes SCSD ofrecía verdaderamente la flexibilidad para la que había sido diseñado. El programa de ensayos duraría unos nueve meses.

Una vez completado el periodo de pruebas e introducidas las mejoras correspondientes en cada sistema, los componentes estaban listos para ser utilizados. Los arquitectos de cada escuela incorporaron en su diseño el sistema de componentes definido teniendo en cuenta las necesidades específicas de cada distrito.

Aproximadamente el 50% del coste de cada escuela correspondería a los componentes del sistema. El resto de partidas, entre las que se incluían la cimentación y la construcción de los muros exteriores, se realizaría con otras soluciones no definidas en el proyecto S.C.S.D..

Inland Steel Products Company ganó el contrato con una oferta de 2.390.000 dólares para desarrollar la estructura básica con un sistema de entramado de acero diseñado por el arquitecto Robertson Ward y The Engineers Collaborative.

La estructura estaba formada por un sistema de soportes cruciformes, unidos por cerchas que actuaban como vigas principales, entre las que se colocaban unidades de cerchas de cubierta diseñadas especialmente. Estas cerchas no disponían de cordón

superior como tal, y en su lugar, la propia cubierta servía como el elemento superior de la armadura, con el consiguiente ahorro tanto en acero como en peso, y en consecuencia, también económico.

Esta fue la primera aplicación de un sistema estructural ortotrópico para la construcción convencional, aunque esta técnica ya se había utilizado para la construcción de puentes.

Para facilitar su manipulación y traslado, las cerchas se plegaban completamente bajo el tablero de cubierta, de modo que las secciones estructurales podían ser apiladas. Así, todos los elementos estructurales de la cubierta del edificio prototipo de 80 por 80 pies se despacharon en un único vagón de tren.

Ya en el lugar de construcción, cada unidad se levantaba por una grúa, permitiendo que las cerchas pivotaran hacia abajo recuperando su posición original. Después, cada unidad estructural se colocaba en su lugar y se unía a las cerchas primarias, desdoblándose el tablero superior de cubierta en dos, de modo que una unidad que medía 5 pies de ancho durante su transporte, alcanza los 10 pies de ancho en su lugar de implantación. Por último, las uniones entre tableros de cubierta se soldaban.

Las columnas eran de dimensiones exteriores uniformes, pero se proporcionaban en varios espesores de acero para adaptarse a diferentes condiciones de carga. El sistema proponía a intervalos de 5 pies luces de 30 y 75 pies con cerchas de 33 pulgadas de altura, y para luces de 90 a 110 pies cerchas de 57 pulgadas de altura.

Los arriostramientos ante sismo o viento no fueron incorporados en la oferta de la licitación dejando su diseño en manos del arquitecto e ingeniero de cada distrito escolar.

Gran parte de los esfuerzos para la coordinación de componentes se centraron en el espacio entre el falso techo y el tablero de cubierta, el llamado "sándwich integrado". En este espacio, distintas líneas libres se organizaron para la fontanería, electricidad y otros conductos, tratando de reducir así los conflictos de los subcontratistas durante la construcción.

La oferta más baja para el subsistema de techo e iluminación, por unos 2.256.000 dólares, fue también la presentada por Inland Steel Products, de nuevo con un diseño de Robertson Ward.

Definitivamente era la parte más versátil del sistema [72] . Consistía en una malla metálica horizontal de cinco pies por cinco pies suspendidos de la estructura, pantallas planas para formar el techo, y casetones de iluminación que sustituían a los paneles de techo allí donde era necesario. Los casetones estaban equipados con cualquiera de los tres tipos de iluminación de techo: directa, semi-indirecta, o luminosa. Una luminaria de dos tubos fluorescentes se utilizaba con tres difusores de plástico opcionales. El casetón de metal podía recibir uno, dos, o tres de estas

72
J. Benet et al. *SCSD: the Project and the Schools. A report from Educational Facilities Laboratories.* Educational Facilities Labs., Inc., New York, May 1967.

luminarias, y la sección superior del casetón, desmontable para dar acceso al espacio de falso techo, se podía utilizar invertida.

El sistema de techo e iluminación se fijaba a la estructura cada 5 pies por un "araña" a la que estaban unidas las guías de techo. La araña, que compensaba las posibles desviaciones respecto a la posición de las cerchas, ofrecía una rotura térmica entre el falso techo y proporcionaba soporte lateral a las particiones interiores. Esta araña fue desarrollada por Fastex División, Illinois Tool Works, Inc., para Inland Steel Products.

Los elementos de iluminación suministraban 70 candelas por pie cuadrado para áreas académicas manteniendo un brillo muy bajo satisfaciendo así las especificaciones S.C.S.D.

Los paneles de falso techo e iluminación eran de chapa metálica prepintada, blanco mate, revestidos de lana mineral al interior para la protección contra el fuego que, en el caso de estar perforados, cumplían una doble función, sirviendo también para absorber el sonido.

Los criterios para la definición de los sistemas termomecánicos HVAC del proyecto S.C.S.D. incluían un nivel de control ambiental local sin precedentes. El equipo de tratamiento de aire debía servir a cada espacio de 450 pies cuadrados independientemente de la forma o la disposición, y adaptarse fácilmente a la redistribución de las salas. El sistema ganador de Lennox Industries, ofertado por 3.410.000 dólares, no sólo brindaba esta flexibilidad y la compatibilidad exigida sino que también ofrecía a las escuelas del S.C.S.D. un sistema de aire acondicionado completo, con o sin enfriamiento mecánico, para el 56% de su espacio por sólo 34 centavos por pie cuadrado más que lo que las escuelas de California pagaban normalmente sólo por calefacción y ventilación. Y el valor de la oferta incluía además la opción de un contrato de mantenimiento de cinco años.

Una combinación de conductos de fibra de vidrio fijos y flexibles llevaba el aire calentado o enfriado a los difusores que se ajustaban perfectamente al sistema de falso techo, como parte fundamental de la compatibilidad que se buscaba en el proyecto. El aire de retorno volvía a la unidad de tratamiento a través del plenum entre el falso techo y el tablero de cubierta. El intercambiador de calor era normalmente de gas, aunque electricidad y agua caliente también podían ser utilizados como sistemas alternativos, y cada unidad tenía un ventilador para proporcionar la salida de aire del edificio de modo que el sistema podía ser alimentado en su totalidad con aire exterior si era necesario.

Las particiones del proyecto S.C.S.D. se dividieron en cuatro grupos: particiones fijas que habitualmente conformaban la mayoría de los interiores de las escuelas, las particiones desmontables que deberían ser móviles con un mínimo esfuerzo, y dos tipos de particiones que pudieran ser manejadas fácilmente por un docente, practicables formadas por paneles y otras tipo acordeón.

El sistema de particiones interiores fijas y desmontables fue desarrollado por E.F. Hauseman Co. con un único producto, una pared que se fijaba sólo cuando algo en su interior lo hacía necesario, como el caso del paso de una tubería de agua.

El ingenioso "Hauseman Double Wall" constaba de paneles de yeso de 40 pulgadas de ancho con un revestimiento de acero que se acoplaban a un montante de metal especialmente diseñado. Los montantes se sujetaban a los canales de suelo y techo, y la parte superior del montante incorporaba además una sección telecóspica que permitía un margen de ajuste a la estructura de hasta 2 pulgadas [73] . La propuesta incorporaba una variedad de colores y acabados, incluyendo una superficie de pizarra de suelo a techo. En lugar de chinchetas se proponía la utilización de pequeños imanes sobre una cinta magnética para la exposición del material escolar.

Las particiones practicables tendrían su propia estructura de soporte, de modo que su peso no descargara directamente sobre la estructura del edificio. En la partición practicable tipo acordeón, diseñada por Hough Manufacturing Company, la estructura de soporte se elevaba con una manivela operada de leva con el fin de liberar el cierre acústico y permitir el movimiento de la partición. En la partición de paneles, diseñado por Western Sky Industrias y posteriormente vendida a Hough Manufacturing Company, una junta superior e inferior retráctil desempeñaba la misma función.

DeLaveaga Elementary School, diseñado por el estudio de Ehrenkrantz, fue una de las primeras siete escuelas en abrir en septiembre de 1966. En febrero de 1968 los trece colegios del programa estarían completados. El proyecto "School Contruction Systems Development" habría cumplido entonces con sus objetivos.

Cientos de edificios se construyeron usando los componentes desarrollados inicialmente como parte del programa S.C.S.D. o desarrollados por los fabricantes que compitieron en las distintas licitaciones que tuvieron lugar durante el proceso.

La propuesta S.C.S.D. fue absolutamente innovadora en varios aspectos, en concreto en la tecnificación del forjado, hasta el punto de que el proyecto puede entenderse como un diseño de un plano horizontal de altas prestaciones que integra las instalaciones mecánicas y de iluminación, con una luz óptima de 75 pies para un canto de 33 pulgadas, con capacidad para incorporar los sistemas de aire acondicionado con retorno en disposiciones flexibles con aprovechamiento del calor de iluminación, con propiedades reflectoras de iluminación, permitiendo la fijación de particiones y compatibilizando todos los sistemas. Todo ello con un módulo de 5 pies que organiza el conjunto.

Posteriormente, como resultado de la preocupación de la Universidad de California por el alto coste y la baja calidad de sus residencias de estudiantes, el equipo del proyecto S.C.S.D. inició un segundo proyecto, el "University Residencial Building System" (UBRS). Pero durante el desarrollo del nuevo programa las demandas establecidas inicialmente cambiaron, y el mercado interesado fue desapareciendo.

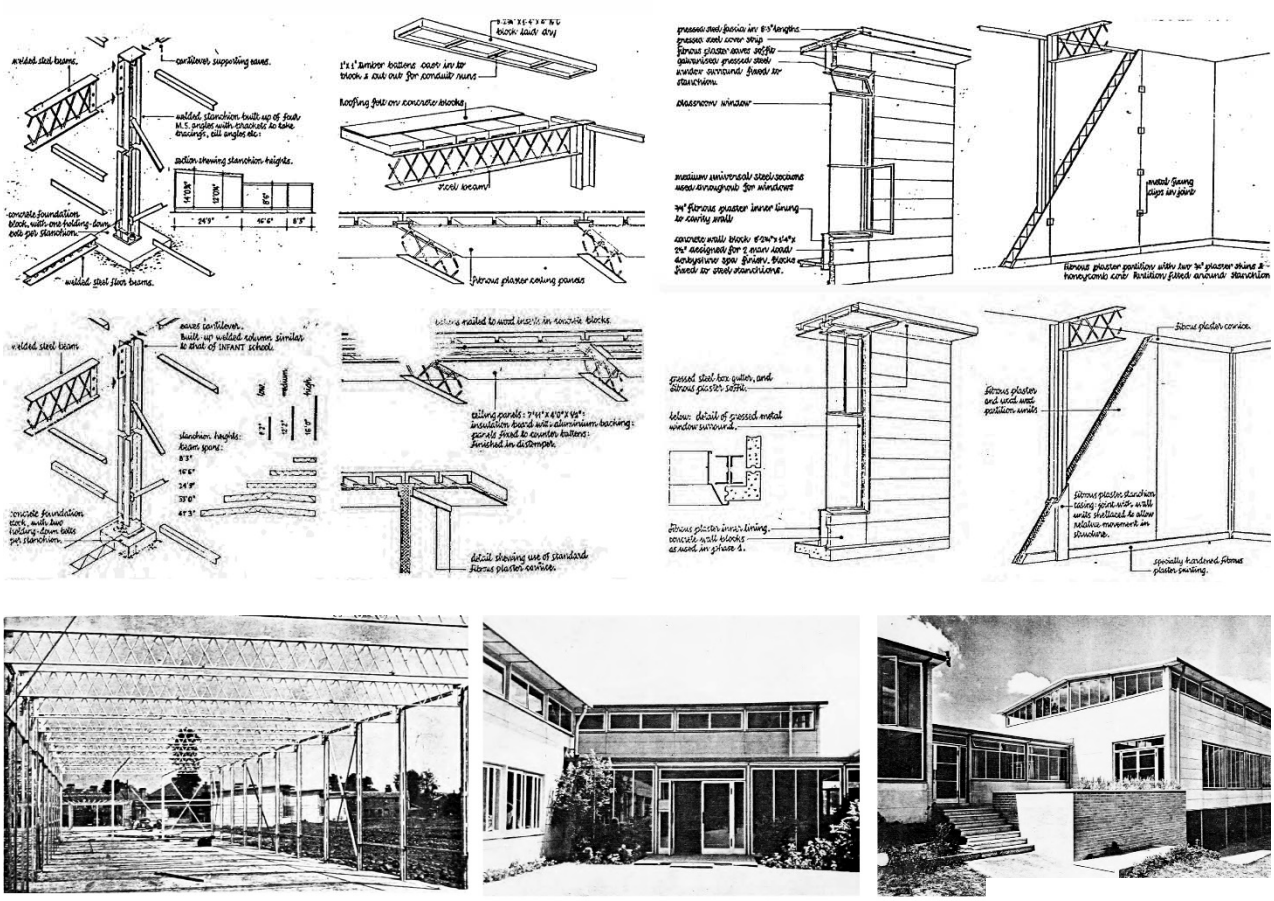
73
J. Benet et al. *SCSD: the Project and the Schools. A report from Educational Facilities Laboratories.* Educational Facilities Labs., Inc., New York, May 1967.

Más tarde se planteó la construcción de un nuevo sistema de escuelas secundarias en la ciudad de Pittsburgh, en el que también se vería implicado el mismo equipo, pero de nuevo, durante el periodo de tiempo correspondiente a la definición del sistema la posición de la población de Pittsburgh cambió de manera radical dejando de apostar por un sistema que integrara las distintas escuelas.



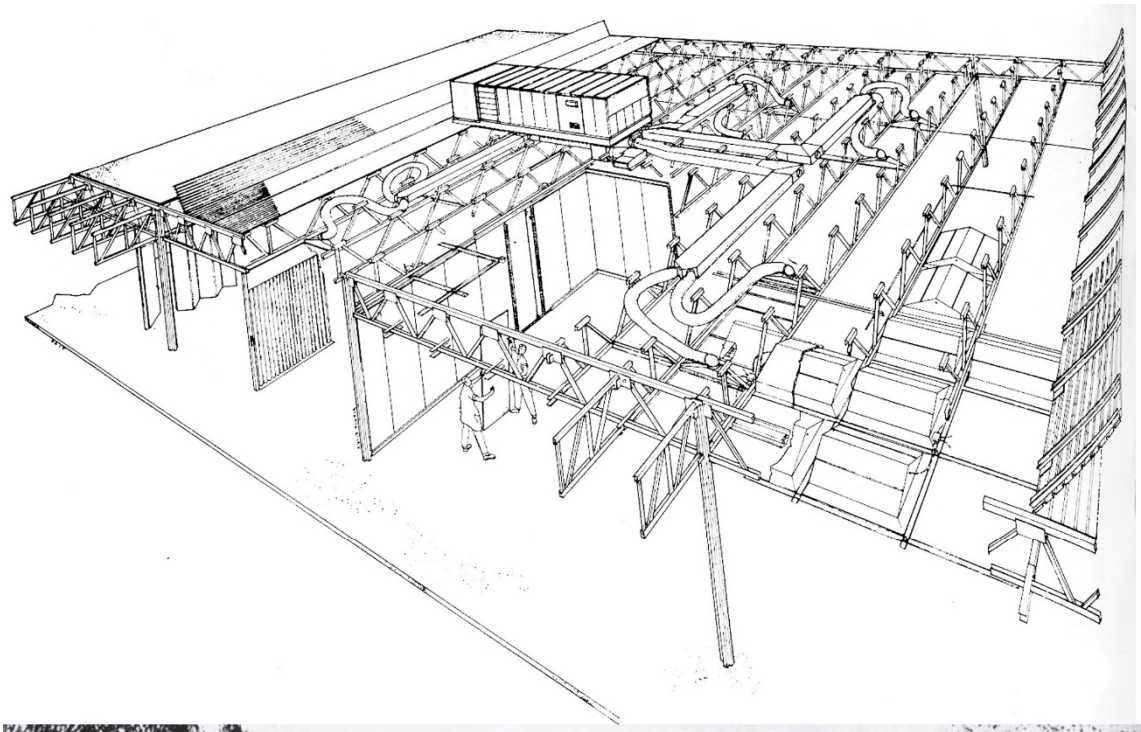
3.5.6.a
Little Green school in Croxley Green, David Medd, 1970 en M.P. K. Keath. *The Development of School Construction Systems in Hertfordshire 1946-1964*. 1983.

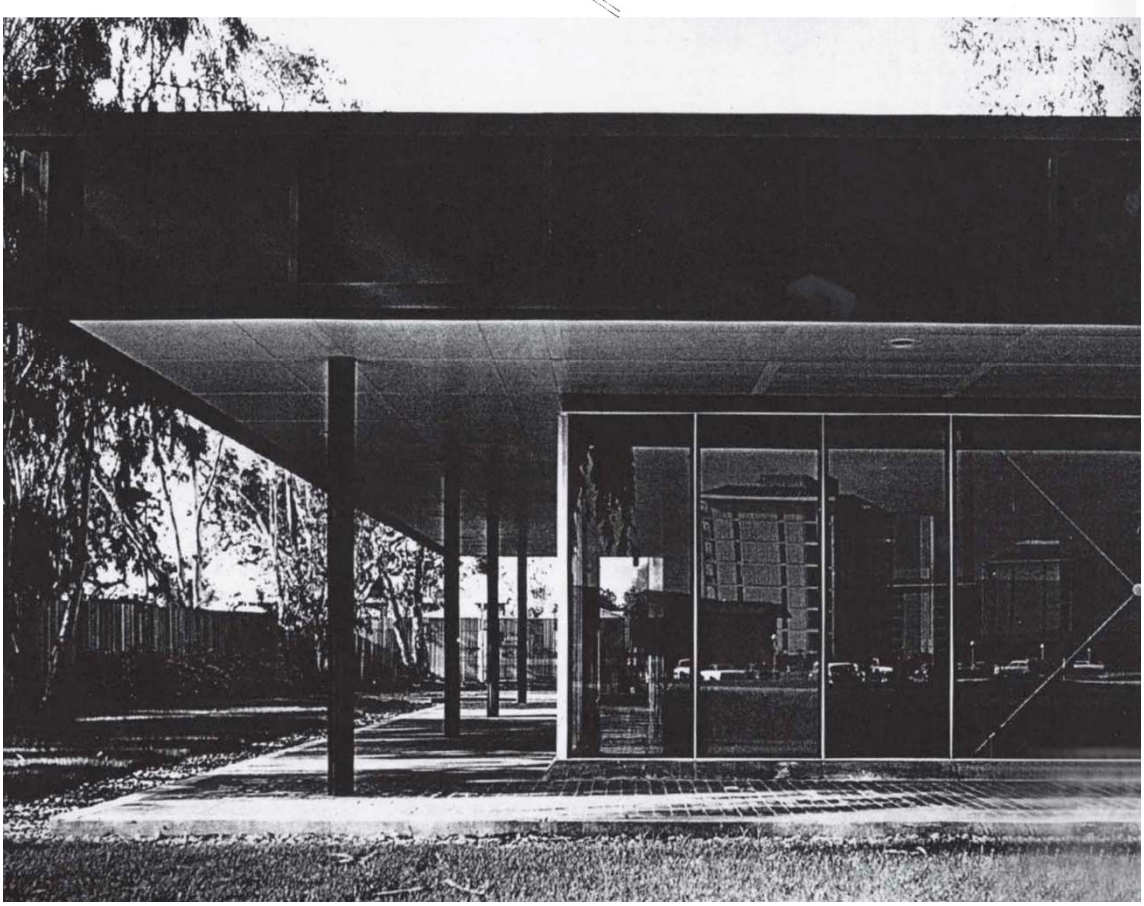
El proyecto S.C.S.D. se basó en el éxito obtenido por un programa de construcción de escuelas iniciado en el Condado de Hertfordshire en Inglaterra tras la Segunda Guerra Mundial. Aquí emplearon sistemas prefabricados de estructura mixta de cerchas ligeras de acero y elementos prefabricados de hormigón. El programa de Hertfordshire funcionaría bien, numerosas escuelas se construyeron a lo largo de más de 30 años.



Sistema de acero y hormigón prefabricado empleado en el prototipo Chesnut Burleigh School Infants desarrollado en Hertfordshire.

3.5.6.b
Cheshunt prototipe en . Architects Journal, 15 May 1955, p.648-651.





3.5.6.c Sistema S.C.S.D. Coordinación de componentes.

Proyecto S.C.S.D. 1958. Ezra Ehrenkrantz. *Architectural systems: a needs, resources and design approach.* Mac Graw-Hill, 1989.

3.5.7. ESQUELETO Y PARED EN LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

.....

Richard Horden diseña en 1984 la Yatch House para su hermana. Gran amante de la navegación, Horden se inspiró en diseño del catamarán Tornado, diseñado por Rodney Marsh, para proyectar la casa.

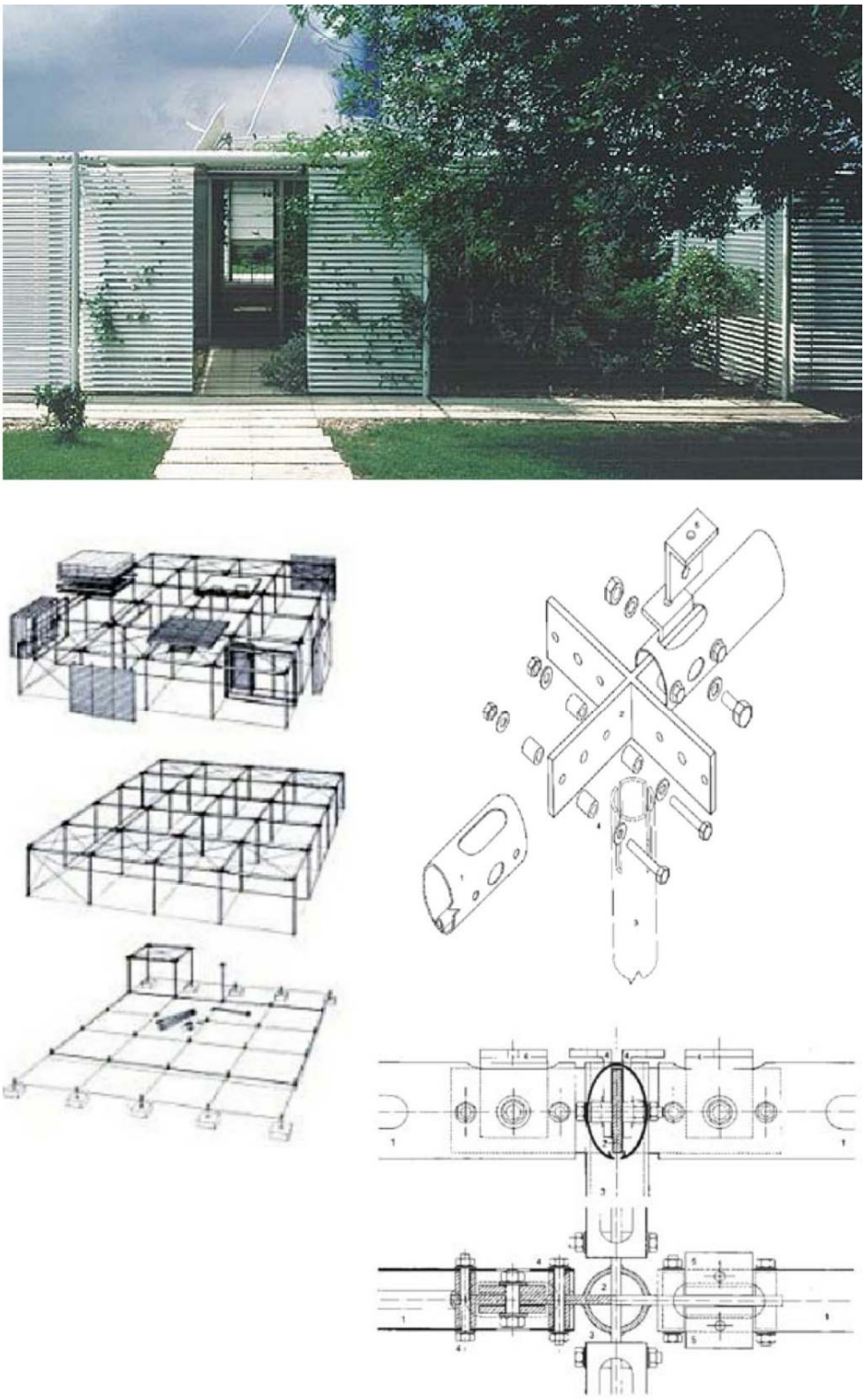
La casa debía de poderse montar por los propios usuarios, con lo que tendría que emplear materiales ligeros. Aquellos que conforman los veleros, con los que Horden estaba bastante familiarizado, parecían una buena opción. Además, las velas y el mástil se montaban y desmontaban cada vez que el velero salía a navegar, con lo que eran componentes que respondían a esa "reversibilidad" que andaba buscando.

Horden optó por un sistema formado por compontes de distintos fabricantes, ofreciendo una propuesta "multisource". Empleó los productos de los fabricantes de mástiles de aluminio y cabos de acero, y los fabricantes de telas de velas naúticas para la estructura y los toldos de cubierta.

Fank Newby, que había trabajado con Cedric Price en el Fun Palace y el Aviario del Zoo de Londres a principios de los 60s, realizaría el proyecto estructural.

La casa se fue ampliando desde los 123m2 inciales a los 218m2 en 1993. Tanto el entramado estructural como el cerramiento estaban construidos con elementos prefabricados estándar. Los elementos a tracción de cable de acero inoxidable eran combinados con los elementos a compresión del aluminio extruido. El "windframe" formado por tubos de aluminio de sección circular y ovalada revestidos, con protección de poliéster blanco, fue fabricado por Proctor Masts, que habían participado también en la fabricación del catamarán Tornado. El catamarán se entregaba desmontado en unos 20 componentes en un tráiler. En una hora una cuadrilla experimentada lo podía montar o desmontar con relativa facilidad.

Esta casa se convirtió en un ejemplo de "transferencia tecnológica" y de las posibilidades de los sistemas abiertos, al tratarse de un objeto montado con productos facilitados por distintos fabricantes pertenecientes a otras disciplinas tecnológicas.



3.5.7
Yatch House. Richard Horden. 1983. Barry Bergdoll, Peter Christensen (Ed). Home Delivery Fabricating The Modern Dwelling. Museum of Modern Art. Ed Birkhäuser. Nueva York. 2008.

El Tornado es un catamarán con dos tripulantes. Estuvo incluido en los Juegos Olímpicos desde Montreal 1976, pero fue excluido a partir de los Juegos de Londres 2012. Fue diseñado en 1967 por Rodney March de Brightlingsea, Inglaterra, con ayuda de Terry Pierce, y Reg White, especialmente con el fin de que se convirtiera en el catamarán olímpico.

3. 6. FABRICACIÓN DIGITAL

DEFINICIÓN – ACOTACIÓN DE SIGNIFICADO

.....

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésimo tercera edición.

Fabricar:

1. tr. Producir objetos en serie, generalmente por medios mecánicos.

2. tr. Construir un edificio, un dique, un muro o cosa análoga.

[…]

Digital: Del lat. *digitālis*.

[…]

3. adj. Dicho de un dispositivo o sistema: Que crea, presenta, transporta o almacena información mediante la combinación de bits.

[…]

DICCIONARIO ETIMOLÓGICO CASTELLANO EN LINEA. DECEL

Fabricar: Del lat. *Fabricāre*, 'crear, 'construir', 'manufacturar'. Sus componentes léxicos son: *faber* (artesano, obrero), *-icus* (relativo a), más el sufijo *–ar* (terminación de verbos).

Digital: Del lat. *Digitālis*, 'realtivo al dedo', ' relativo a los números'.

.....

Ryan E. Smith. *Prefab Architecture. A guide to modular design and construction*. Ed John Wiley and Sons. Hoboken New Jersey. 2010.

"La prefabricación no solo comprende el diseño de un producto bonito..., sino que también tiene que estar diseñado desde el punto de partida de la producción."

.....

Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.38.

"Puede ser tentador intentar retroceder en el tiempo. Pero la próxima revolución industrial no consistirá en volver a un estado preindustrial idealizado […]. Los materiales naturales para cubrir las necesidades de la población actual ni existen ni pueden existir."

.....

Branco Kolarevic. *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*. Architectural Information Management (05 Design Process 3). Taylor & Francis 2005. p. 3.

"The Information Age, just like the Industrial Age before, is challenging not only how we design buildings, but also how we manufacture and construct them. (…). The generative and creative potential of digital media, together with manufacturing advances already attained in automotive, aerospace and shipbuilding industries, is opening up new dimensions in architectural design".

"Digital workflows and digital means of production have the potential to change the way architecture is conceived. The paradigm of mass customization is interesting for architecture as architecture has always been about uniqueness. In industrial times uniqueness became a luxury, in the information age it's becoming affordable again."

. . . . . .
Leonhard, Hirschberg Urs y Heimo, Schimek. *Mass Customization in Architecture*. 2004. Recuperado de https://online.tugraz.at/tug_online/fdb_detail.ansicht?cvfanr=F21333&cvorgnr=37&sprache=2.

"(…) To move from design to construction, it is necessary to translate graphical data from two dimensional drawings and three-dimensional models into digital data that a computer-numeric controlled (CNC) machine can understand."

. . . . . .
Lisa Iwamoto. *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. Architecture Briefs. New York: Princeton Architectural Press 2009. p.6.

"Las piezas de las impresiones en 3D están interconectadas. La producción en masa se basa en la cadena de montaje. En las fábricas modernas, las máquinas crean objetos idénticos, que más adelante son ensamblados por robots o humanos, a veces en otro continente. Cuantas más piezas tenga un producto, más costará ensamblarlo y más caro será de fabricar. Al crear objetos por capas, una impresora 3D puede imprimir una puerta y sus bisagras al mismo tiempo, sin que haga falta ensamblar las partes. Esto acorta las cadenas de suministro, ahorrando costes de mano de obra y transporte, además de contaminar menos."

. . . . . .
Hod Lipson y Melba Kurman, *Los diez principios de la impresión en 3D*, en *La revolución de la impresión 3D*. Madrid: Anaya, 2014.

"[…] preguntándonos no sólo qué es lo que funcionó en el pasado, sino también qué funcionará en el futuro. ¿Qué tipo de mundo queremos, y cómo podemos diseñar cosas acordes con esa visión? […] ¿Cómo pueden nuestros productos y sistemas contribuir a crearlo y mantenerlo, de tal modo que las generaciones futuras se vean enriquecidas por lo que hacemos, en lugar de verse supeditadas a los riesgos y los residuos? ¿Qué podemos hacer ahora para comenzar el proceso de la re-evolución industrial?"

. . . . . .
Michael Braungart, William McDonough. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005, p.138.

3.6. FABRICACIÓN DIGITAL

.....

Hoy nos encontramos con una amplia oferta de sistemas constructivos industrializados en los que cada vez se hace más viable la recuperación de sus componentes, diferenciándose los cerrados de los abiertos, aunque estos solo lo sean parcialmente. Cabe destacar el componente de fabricación off-site, creciente en todos los casos.

Las técnicas de conformación disponibles, que añaden a los sistemas tradicionales mejorados las nuevas técnicas de conformación de piezas mediante sistemas digitalizados de moldeo, soldadura robotizada, corte por láser y/o plasma, impresión 3D etc. con un altísimo control de calidad en los procesos de fabricación y montaje, representan el presente y el futuro inmediato en la industria de la construcción.

Estos nuevos modos de fabricación permiten incorporar en el proceso de diseño todos los aspectos del proceso constructivo, y ponen en manos del arquitecto un amplio abanico de productos y posibilidades con los que poder proporcionar soluciones aptas para el futuro. Entre ellas el desmontaje y la reutilización de componentes se establecen como factor clave del proceso constructivo.

El objetivo final será convertir al edificio en una agrupación coherente de elementos que se montan y desmontan de manera clara y sin mayores dificultades. Y esto entendiendo el edificio como un sistema completo que debe cumplir los actuales criterios de sostenibilidad.

Además, desde hace algunas décadas, grandes empresas no vinculadas directamente con el sector de la construcción se han ido introduciendo en el ámbito de la producción industrial de algunos tipos de edificios, ofreciendo casas aisladas y

bloques residenciales dentro de su amplio catálogo de productos. Entre estas empresas se encuentran la marca sueca Ikea, la compañía japonesa Muji, o la empresa automovilística Toyota.

Asumido el escaso éxito de las propuestas de algunos arquitectos de mediados del siglo XX en su intento de crear prototipos de viviendas como sistemas íntegros que pretenderían repetirse, la viabilidad de la producción de casas por parte de estas grandes marcas está hoy asegurada tanto por la confianza previa del consumidor en la compañía como por las ventajas indudables para el comprador en cuanto al control en el plazo de suministro y montaje, seguridad en el precio final y ejecución de la garantía.

Además del soporte económico, al tratarse de modelos ofrecidos por reconocidas empresas, sus posibilidades de éxito en el mercado actual de viviendas están aseguradas, y frecuentemente respaldadas por una gran campaña de marketing. Cualquier otra propuesta similar y anónima, no obtendría actualmente los mismos resultados en ningún caso.

Sin embargo, tanto las viviendas BoKlok, como las casas Muji y Toyota, presentan un escaso nivel técnico y constructivo frente a un proceso de producción en constante perfeccionamiento. En todos los casos se tiende a homogeneizar tanto la forma y dimensión de los elementos incorporados a las viviendas, como los detalles empleados para su unión y montaje, permitiendo su intercambiabilidad, pero dando como resultado construcciones de escasa eficiencia estructural y constructiva. Estas decisiones parecen haber sido tomadas principalmente para favorecer el proceso de producción de los distintos elementos y componentes del sistema.

Finalmente, estas empresas ofrecen un espacio ideal en el que potenciar el desmontaje y la recuperación de los elementos y componentes incorporados en estas soluciones una vez finalizada su vida útil, y su reincorporación al proceso constructivo. Así, las viviendas construidas servirían como fuente de materia prima para las nuevas construcciones.

3.6.1. FABRICACION DIGITAL EN MADERA

.....

La vivienda diseñada por Kazuhiko Namba en 2003 y comercializada por Muji desde 2004, ofrece distintas configuraciones en función de las necesidades del usuario. Los programas y dimensiones se desarrollan siguiendo el módulo tradicional japonés "ken" (1 ken = 6 pies = 182 cm). El esquema base de todas las opciones presenta un frente de acceso acristalado con un alero que cubre un porche o terraza longitudinal. El interior se desarrolla en dos plantas en torno a un "atrio" o doble altura central.

La vivienda se construye según el concepto de "esqueleto+superficie". Todos los elementos de la estructura, a excepción de los soportes exteriores del porche de acceso, son de madera laminada estructural JAS tipo F4 que se caracteriza por una menor deformación, torsión y posibilidad de agrietamiento que la madera maciza, y que presenta unos valores de resistencia aproximadamente 1,6 veces mayores que los de la madera maciza estructural. En la base de la vivienda se emplea madera laminada de Ciprés Hinoki, de especial dureza y resistencia al desgaste.

Frente a la construcción tradicional con madera, en la que se puede llegar a producir una excesiva pérdida de material en la cabeza de los pilares reduciendo considerablemente la resistencia en las uniones, en esta propuesta se emplea el llamado método estructural SE.

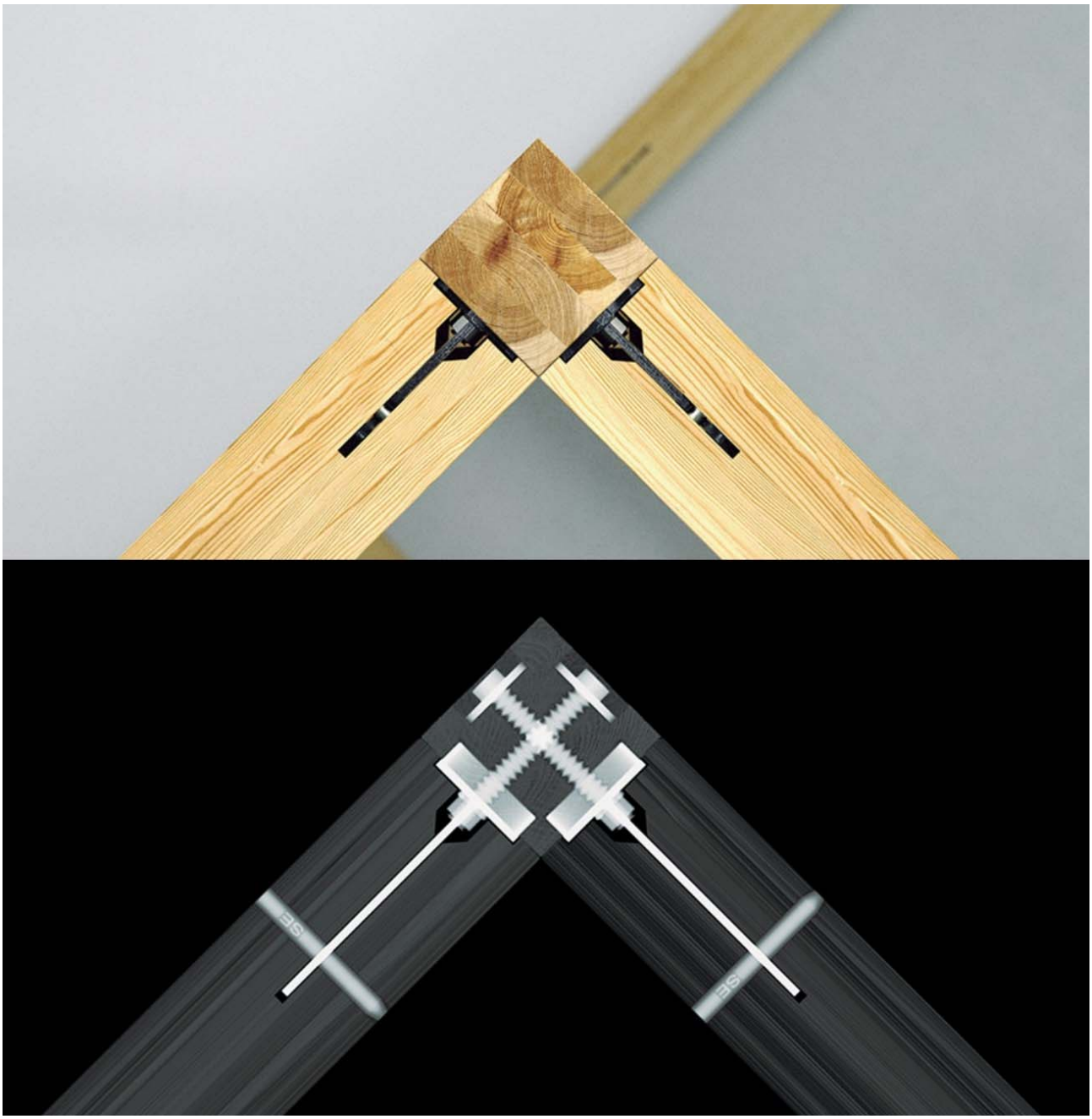
Este método estructural consiste en un entramado de vigas y pilares de madera con uniones rígidas que se resuelven a través de unos herrajes conformados con pletinas soldadas de acero que se introducen en el eje de la viga y son fijados a la misma mediante pasadores.

La conexión con el pilar se realiza a través de conectores circulares de superficie de anillo y pernos de fuste roscado completo que atraviesan toda la cabeza del pilar.

Estos pernos, al ser roscados en toda su longitud, presentan una mayor superficie de contacto con el elemento estructural y una resistencia media a la tracción dos veces mayor que un perno normal de fuste liso. También el sistema de fijación autorroscante asegura la rigidez de la unión ante la posible contracción de la madera por secado y envejecimiento. En la base de los pilares se introducen del mismo modo herrajes de acero que mediante pernos roscados transmiten la carga directamente a cimentación.

El sistema de uniones empleado, así como la concentración de un mayor peso en las zonas inferiores de cimentación, contribuyen a incrementar la capacidad de resistencia del edificio ante terremotos. Este prototipo de vivienda presenta una resistencia al sismo grado 2 de los 7 posibles de la escala aplicada en Japón.

La estabilidad estructural en el plano horizontal se obtiene mediante tableros de piso de madera contrachapada estructural de 28 mm de espesor clavados a las vigas de la



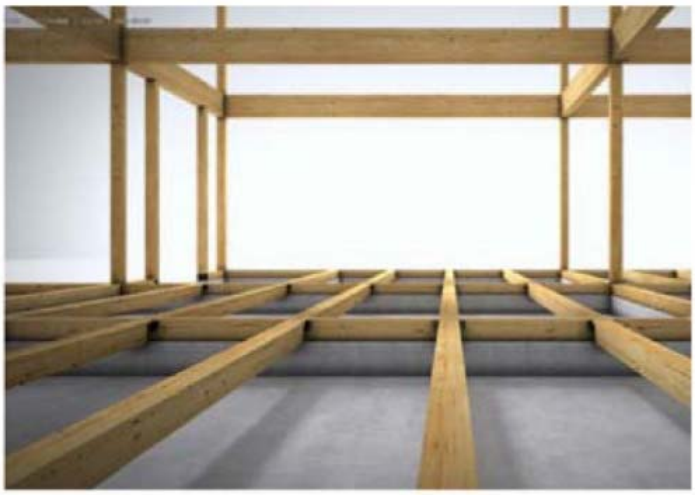
3.6.1.a
Kazuhiko Namba. Muji House. 2004. www.muji.net/ie, www.se-structure.com

En la casa Muji se emplea el método SE que consiste en un entramado de madera con uniones rígidas. La fabricación de los elementos de la estructurua se mecaniza con una exactitud de milímetros gracias a un sistema CAD-CAM.

estructura soporte. La estructura del suelo de planta baja se ancla directamente a la cimentación independizándose de la base de los pilares. La fabricación de los elementos de la estructura se mecaniza con gran exactitud gracias a un sistema CAD-CAM.

La vivienda se aísla completamente por el exterior envolviendo la estructura. Se emplea espuma rígida de poliuretano de alta densidad, con una conductividad térmica de 0.021 W/m K. La fachada es ventilada con acabado exterior en chapa plegada de acero sobre listones horizontales de madera. La cubierta está formada por paneles aislantes compuestos de aislamiento de espuma intercalada entre hojas de madera contrachapada, sobre los que se disponen una lámina impermeabilizante y un revestimiento de acero galvanizado. La vivienda incorpora un sistema de ventilación con entrada de aire fresco desde los dormitorios y el salón y extracción forzada en los aseos. La calefacción es por suelo radiante instalado en planta baja. Todos los aparatos y sistemas funcionan con energía eléctrica.











3.6.1.b
Kazuhiko Namba. Muji House. 2004.
www.muji.net/ie, www.se-structure.com

En la casa Muji se emplea el método SE que consiste en un entramado de madera con uniones rígidas.

3.6.2. FABRICACIÓN DIGITAL EN ACERO

.....

Las viviendas que comercializa hoy la casa japonesa de automóviles Toyota llaman la atención por su aspecto extremadamente tradicional. Presentan distintos tamaños en función de los requerimientos del usuario, y se desarrollan en una o dos alturas. Están realizadas con un sistema de construcción modular.

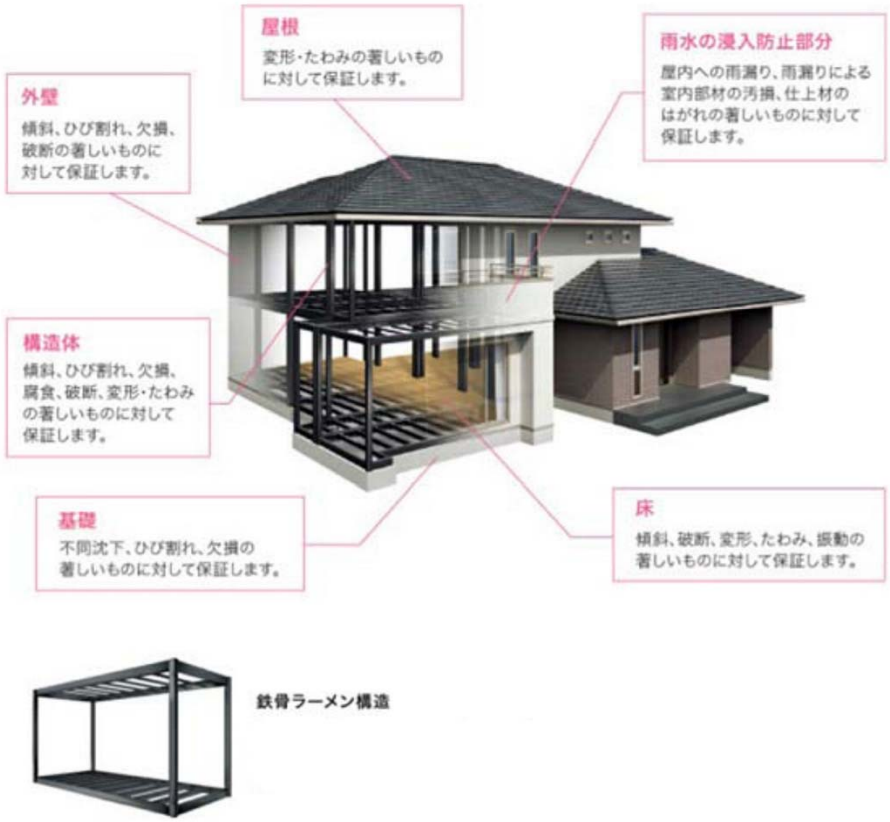
Frente a la construcción tradicional con pilares y vigas de madera, y a la evolución al esqueleto de madera con elementos superficiales de rigidización, el sistema aplicado en las casas Toyota emplea un esqueleto de acero arriostrado por tableros de madera contrachapada estructural y paneles de yeso [2]. La estructura sigue el llamado Método Toyota SW, módulos de estructura de acero con cuatro soportes extremos de 125x125mm soldados a las vigas perimetrales entre las que se colocan las viguetas metálicas. Con este sistema se pretende reducir al máximo las deformaciones en las uniones entre viga y pilar. Cada módulo tiene un ancho aproximado de 2,30m y una longitud que puede llegar a los 8 metros. Su fabricación se realiza a pedido del cliente. Cada módulo se monta en fábrica con un nivel de acabado del 85%, que llegará al 100% en obra. La casa se ancla sobre una sólida cimentación realizada sobre terreno mejorado. La vivienda presenta una resistencia estructural al sismo de grado 3 dentro de los 7 posibles.

Para evitar los inconvenientes derivados del empleo de madera estructural en cuanto a la contracción por secado, torsión, deformación, y aparición de fendas, la estructura se realiza completamente en acero. Se utiliza un acero galvanizado obtenido de la tecnología de Nippon Steel y Toyota Motor, con una durabilidad de más de 100 años.

La casa incorpora además el Sistema T4 en sus paredes principales que consiste en un dispositivo de amortiguación que absorbe la energía del terremoto, reduce la deformación de la construcción y minimiza los daños ocasionados a la estructura. Se trata de aplicar la idea del amortiguador utilizado en el automóvil, para disipar el movimiento de rotación del sismo. Para mejorar el aislamiento acústico y de ruido de impacto entre el piso superior y el inferior Toyota también aplica aquí la tecnología de control de la vibración de sus automóviles, mediante la instalación de unos "amortiguadores dinámicos" en el suelo de la planta superior.

La vivienda se envuelve completamente por el exterior con un material aislante. Además, se prevé una cámara ventilada entre el aislamiento y la pared exterior reduciendo el riesgo de condensación y de aparición de humedades y aumentando la durabilidad de la construcción. Los revestimientos exteriores de las fachadas pueden ser elegidos entre distintas opciones. Entre las instalaciones incorporadas a la vivienda se encuentran varias patentes desarrolladas por el grupo Toyota, entre las que se encuentra un sistema de carga de vehículos eléctricos.





3.6.2
Toyota House. 1978-2024. www.toyotahome.co.jp, http://home-albax.com/home/toyota_sw

La casa Toyota se desarrolla a partir de un sistema modular, con módulos de 2,30 metros de ancho y hasta 8 metros de largo. Los módulos tienen una estructura de acero. Estos módulos 3D generan otra forma de estereotomía, esta vez referida a sillares habitables huecos.

3.6.3. FABRICACIÓN DIGITAL Y EL ENTRAMADO LIGERO

.....

BoKlok es un concepto de vivienda desarrollado por Ikea y la constructora Skanska, para dar respuesta a la demanda de viviendas asequibles. Se construye por primera vez en Suecia en los años 90, y más tarde en Noruega, Dinamarca, Alemania e Inglaterra. Las viviendas están formadas por módulos prefabricados de entramado ligero de madera, que se ensamblan entre sí y se montan in situ. Esta agrupación de módulos tridimensionales son fruto de una estereotomía previa realizada en fase de diseño.

La mayoría de las promociones construidas por Ikea y Skanska se organizan en bloques aislados con forma de L y dos alturas, con 3 apartamentos por planta. Cada bloque se construye con 12 módulos de madera realizados en su mayoría en la fábrica de Moelven en Småland, Suecia. Cada apartamento abre sus huecos a 3 orientaciones. El acceso a cada vivienda se realiza a través de una pasarela exterior. La sociedad de Ikea y Skanska también construye promociones de viviendas adosadas, de 2 plantas y escalera interior, formada cada una de ellas por 4 módulos.

En todos los casos los módulos presentan un ancho de 2,54, 2,88, 3,36 y 4,18 metros, una longitud de hasta 10,20 metros, y una altura libre de 2,40 y 2,70 metros. Cada módulo tiene un peso de entre 180 y 250kg/m2. Vigas de borde de madera laminada y vigas transversales cada 60cm, ambas de sección 42x225mm, forman su forjado. Las vigas están arriostradas horizontalmente mediante tablero aglomerado MDF e.22mm superior. Entre ellas se dispone una doble capa de lana mineral 110+120mm y una lámina impermeabilizante inferior. El acabado interior es de tarima de madera e.14mm y alicatado en baños. El valor U total del forjado sobre la cámara sanitaria es 0,23W/m2ºC, y de 0,24W/m2ºC en el forjado de cubierta.

Las paredes del módulo se construyen con un entramado de montantes de madera 45x95mm (45x185mm en pared de fachada) cada 60cm y refuerzos horizontales de 45x95mm. Entre los montantes se dispone lana mineral e.95mm (e.185 mm en pared de fachada). Se añade una lámina impermeabilizante al exterior. El acabado es de placa de yeso 13mm y placa de yeso RF 15mm al interior. Vigas de borde de madera 45x145 mm y transversales 45x145 mm cada 120 cm conforman el techo del módulo. Entre ellas se coloca lana mineral e.95mm con refuerzo e.50mm en banda perimetral. Una lámina impermeabilizante se incorpora al exterior.

Listones de madera 34x70mm se sitúan en el techo cada 30cm para la colocación del acabado interior de placas de yeso RF e.15mm y paneles aglomerados e.12mm con lámina de aluminio. Las uniones de todos los elementos estructurales son clavadas.

La fachada se realiza con un entablado de madera de picea pintada sobre listones. Las ventanas presentan un valor U de 1,20 W/m2ºC.



3.6.3
Boklok Ikea + Skanska.
1996-2024.
S. P. Bjarløv. *Blev de billige boliger bedre? Evaluering af teknik og produktion*. DTU, 2011.

Las casas Boklok de Ikea se configuran a partir de módulos tridimesionales realizados con entramado ligero de madera. Los módulos se transportan hasta la obra en camión y se colocan con ayuda de una grúa. El ensamblaje de los distintos módulos se realiza in situ. Una vez ensamblados se realiza la conexión de las instalaciones.

Cada vivienda cuenta con calefacción eléctrica y suelo radiante o con calefacción a base de agua con radiadores montados en pared. Incorporan además un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor [74].

Los módulos, sellados con tela asfáltica y con las ventanas ya incorporadas, se transportan hasta la obra en camión y se colocan con ayuda de una grúa.

Elementos como la cubierta inclinada, las escaleras exteriores o los balcones, se suministran como unidades separadas prefabricadas que serán montadas de manera independiente.

La base de cada edificio se realiza con vigas perimetrales prefabricadas de hormigón que descansan sobre cimentaciones puntuales. Una lámina impermeabilizante y una capa de poliestireno se disponen en el terreno sobre un lecho de grava para retener la humedad. Las vigas incorporan rejillas para la ventilación de la cámara sanitaria. El ensamblaje de los volúmenes se realiza in situ mediante clavos de adherencia mejorada de 3,2mm de diámetro y longitud 240mm uniendo los durmientes y secciones de la estructura de madera incorporados en fábrica. Una vez ensamblados los módulos se realizan las conexiones de electricidad, saneamiento y fontanería.

74
S. P. Bjarløv. *Blev de billige boliger bedre?* Evaluering af teknik og produktion. DTU, 2011.

3.6.4. FABRICACIÓN DIGITAL Y EL PABELLÓN EXPERIMENTAL

.....

El Instituto para el Diseño Computacional (ICD) y el Instituto de Estructuras Arquitectónicas y Diseño Estructural (ITKE), ambos de la Universidad de Stuttgart, promueven desde hace años el diseño y construcción de una serie de pabellones temporales en los que investigadores y estudiantes ponen a prueba los materiales y componentes buscando su optimización estructural inspirados en procesos de la naturaleza, a la vez que exploran las posibilidades de los métodos más avanzados de fabricación digital.

La combinación de ambos enfoques ha dado como resultado interesantes propuestas, en las que el proceso de conformación de las piezas, así como el montaje de los componentes ha tenido una importancia fundamental.

Su objetivo es mostrar el potencial de los nuevos procesos de diseño, simulación y fabricación en arquitectura.

El concepto de estereotomía, término que ya había aparecido en el siglo XVIII, y que se refiere al arte de cortar piezas con una forma y una geometría determinadas para colocarlas en su lugar, tiene una presencia extraordinaria en estos pabellones. La estereotomía se incluirá en la fase de diseño, encontrando en la tomotecnia su aplicación práctica. La tomotecnia tendrá por objeto dividir los elementos constructivos en piezas de tamaño adecuado para su ejecución.

El pabellón construido en el año 2011 estaba configurado a partir de células variables de base hexagonal formadas por hojas de madera contrachapada de 6,5mm de espesor cortadas digitalmente y unidas por ensamble dentado múltiple. Tres líneas de bordes de célula se unían en un solo punto. Conexiones simples atornilladas conectaban las células en su conjunto, permitiendo un sencillo montaje y desmontaje del pabellón.

El pabellón de 2013 se componía de 36 piezas obtenidas mediante fabricación robotizada empleando hilos de fibra de vidrio y de carbono. Para la fabricación de las piezas de doble curvatura se emplearon dos robots industriales de 6 ejes para enrollar las fibras entre dos marcos de acero auxiliares sostenidos por robots. Los marcos definían los bordes, y la geometría final de cada pieza surgía a través de la disposición de las fibras. La fibra de vidrio definía la geometría de los elementos y servía como encofrado de las fibras de carbono que se dispondrían posteriormente y que actuarían como refuerzo estructural.

Cada uno de los elementos tenía una geometría individual y una disposición de fibras particular que daba como resultado una distribución de cargas eficiente. El elemento más grande tenía un diámetro de 2,6 metros y pesaba 24,1 kg.





3.6.4.a
ICD ITKE_Research Pavilion 2011 y Research Pavilion 2013.
https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions

Superior: ICD ITKE_Research Pavilion 2011.
Inferior: ICD ITKE_Research Pavilion 2013.
Los pabellones se conforman con piezas obtenidas mediante fabricación robotizada. Los pabellones de pueden montar y desmontar por los propios investigadores sin mayor dificultad.

HygroShell, el pabellón realizado en 2023, utilizaba las propiedades higromórficas de la madera mediante la construcción de laminados bicapa de capas cruzadas con una capa "activa" más gruesa que comenzaba con un alto contenido de humedad y una capa "restrictiva" más delgada con un bajo contenido de humedad. Las láminas bicapa se curvaban cuando la madera de la capa activa se encogía a medida que secaba. Mediante el uso de modelos mecánicos derivados analíticamente, las propiedades naturales del material se emplearon de forma específica y con precisión, como un método pasivo de bajo consumo energético para generar geometrías curvas.

El resultado fue una cubierta ligera de 10 metros de longitud y 28 mm de grosor hecha de componentes planos que adoptan su forma curva in situ.



3.6.4.b
ICD ITKE_Research Pavilion HygroShell. 2023. https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions

El Pabellón HygroShell experimenta con la madera como material higromórfico.
El Pabellón cambia de forma al variar las condiciones de temperatura y humedad del ambiente. La cuberita se curva y se despliega.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado ha pretendido establecer las posibilidades de desmontaje de nuestras construcciones apoyándose en los procesos de creación de las arquitecturas más antiguas. La posición teórica desde la que se aborda, permite una comprensión general del hombre y de su medio. Ésta encuentra su límite donde comienza la experiencia como aplicación práctica de la creación del objeto, cuyos testimonios han formado parte de los distintos apartados del cuerpo del documento.

El discurso se ha planteado desde un punto de vista amplio, proponiendo, de manera paralela y al mismo tiempo, soluciones arquitectónicas y técnicas concretas. De este modo el documento pretende iniciar un diálogo no solo con los especialistas del tema principal de la investigación, si no con el público en general interesado en participar en las ideas que aquí se presentan.

Energía y materia dan origen a un mundo, el nuestro, en el que el sol y la tierra se establecen como los elementos principales de un sistema esencialmente cerrado plagado de preciados y limitados recursos. Todo lo que hacemos y construimos debe formar parte inseparable de este sistema. Esta premisa engloba la primera parte del documento: ***reversible y natural***.

Oportunidad, mutabilidad, durabilidad, materialidad, levedad, ciclabilidad, se han establecido como enunciados de los conceptos teóricos en relación a la desmontabilidad y a los procesos constructivos reversibles que forman parte de este capítulo. Se trata de términos que acaban en '-dad', sufijo de origen latino que en español forma, a partir de adjetivos, sustantivos abstractos de cualidad. Pretenden establecer el marco estable sobre el cual desarrollar el resto de conceptos enunciados en la investigación.

La mecánica de lo que construimos se presenta como el campo en el que realizar la búsqueda de las técnicas más óptimas para el desmontaje de las arquitecturas que levantamos. Se realiza sin perder de vista la mecánica de lo natural. Resulta adecuado, ya que ambas comparten las mismas leyes. Esta es la aproximación desde la que se ha desarrollado la segunda parte de la tesis: ***desmontaje***.

Proporción, conformación, unión, precisión, construcción y división, se establecen como los términos empleados en este capítulo para introducir conceptos más técnicos relacionados con la reversibilidad de las construcciones. Se trata de palabras que terminan en 'ión', sufijo que forma sustantivos de acción o efecto, y que en la investigación enuncian los procesos que conducirán a la realidad del desmontaje.

En arquitectura, las ideas no sólo se transmiten a través de la palabra. En la disciplina que nos ocupa, tenemos la gran suerte de que toda arquitectura es un discurso valioso e inagotable. Esto aparece de manera clara y evidente en la arquitectura de la Antigüedad. Y es precisamente aquella época la que se presenta como inicio temporal de la investigación, dando pie a la tercera parte del documento: ***evolución y futuro***.

Apoyo simple, empuje y tracción, junta elástica, poste y dintel, esqueleto y pared y fabricación digital se establecen como las parejas de términos que definen los conceptos relativos a la definición constructiva bajo los cuales se han levantado las construcciones a lo largo de la historia, relacionados con el desmontaje. En esta tercera parte, la investigación profundiza de una manera más decidida en los ámbitos de la ingeniería y la arquitectura, en aquello relacionado con lo desmontable, a lo largo de nuestra historia.

A modo de conclusiones de la investigación, y respondiendo al objetivo principal de la misma, a continuación se presentan las 'estrategias para el diseño de arquitectura reversibles' obtenidas durante el desarrollo de esta tesis.

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE ARQUITECTURAS REVERSIBLES

.....

01. *Definición del escenario.* En la publicación de 1992, *IL23: Structure 7*, Frei Otto explicaba que no existe virtualmente diseño o estructura que haya desaparecido completamente después de su invención. Defendía que la sustitución de lo que es técnicamente efectivo por aquello que es aún más técnicamente efectivo es típico del desarrollo tecnológico, y puede conducir con frecuencia a la desaparición de tecnologías enteras. Pero las ideas innovadoras esenciales permanecen activas, aunque solo continúen existiendo en pequeños ámbitos. El ámbito correspondiente a la construcción tradicional constituye un refugio excepcional de estas antiguas tecnologías. Aún hoy, tenemos la oportunidad de seguir aprendiendo del pasado.

Al igual que la arquitectura tradicional siempre respondió a su medio, no en todos los países se construye de la misma manera ni bajo los mismos condicionantes. Si nos fijamos por ejemplo en el clima, las temperaturas extremas que se dan durante varios meses al año en los países nórdicos obligan a reducir al máximo los trabajos de construcción en el exterior, dando lugar a sistemas con un componente "off-site" de hasta el 90%. Por el contrario, el clima cálido de nuestra geografía permite el trabajo de construcción al aire libre permitiendo propuestas con menor nivel de prefabricación.

Teniendo en cuenta que la industria de la construcción siempre ha sido resorte clave para reactivar la economía de una región, deberán de poderse integrar en la misma sistemas constructivos actualizados que posibiliten una respuesta óptima ante las distintas circunstancias que se dan en nuestro medio, dejando atrás los sistemas monolíticos desarrollados a mediados del siglo XX basados en el empleo del hormigón armado. En este sentido las soluciones desmontables parecen una más que adecuada opción.

El crecimiento explosivo de algunas ciudades y la decadencia incontrolada de otras ha obligado a nuestro sector a pensar en nuevos métodos de construcción. El empleo

de sistemas que permitan su desmontaje abren la oportunidad de obtener una mayor rapidez, calidad y control en los procesos de construcción y desmantelamiento, facilidad de recuperación de piezas en sistemas de junta seca, aligeramiento de componentes, o ahorro inmediato de energía debido al reciclaje y reutilización de elementos.

En oriente, aunque la renovación periódica de las construcciones, que actualmente tiene lugar en cualquier ciudad japonesa, está impulsada por intereses económicos, y los sistemas constructivos empleados hoy no siempre contribuyen un correcto desmontaje, la renovación como fundamento intrínseco a su cultura ha preparado el medio para dar allí el paso hacia la generalización de una arquitectura totalmente desmontable.

En occidente, aún parece razonable pensar en que los edificios con pretensión de gran permanencia en el tiempo no tengan el carácter de desmontable.

02. *Integración desde las primeras fases.* Una vez identificadas las distintas fases en el desarrollo del proceso constructivo -ideación, fabricación, suministro, transporte y puesta en obra-, el desmontaje y el destino de cada uno de los componentes del edificio al final de su vida útil deberá de estar integrado en el proceso de ideación y construcción desde las primeras fases del proyecto.

Del mismo modo, los sistemas que pretendan optar por el desmontaje al final de su vida útil, deberán reunir los intereses de todos los agentes implicados, incluidos clientes y usuarios finales de la construcción, desde el inicio del proceso. Los medios y las tecnologías de fabricación implicadas deberán estar también presentes durante todo el proceso participando de las decisiones constructivas en todo momento. Previa a la fase de diseño, se deberá de conseguir un mercado con una dimensión adecuada que permita la materialización de las soluciones desmontables planteadas.

En la vida de un edificio, siempre llega un momento en el que es necesaria su transformación, y se debe decidir entre su rehabilitación, su restructuración o simplemente su demolición. Y a pesar de que esta decisión se suele plantear muchos años más tarde, está completamente condicionada por los criterios que se tomaron durante las primeras fases de proyecto. Si durante el proyecto se planteó el edificio como un conjunto de sistemas abiertos que posibilitaran el desmontaje y recambio de componentes obsoletos y la entrada nuevos componentes físicos y funcionales, la continuidad estará asegurada.

03. *Empleo de materiales de extracción o fabricación local.* La limitación en la variedad de materiales utilizados conducirá a soluciones más claras y a un mayor control en el diseño y en la fabricación, como ya ocurría en las arquitecturas de la Antigüedad, y también en las de la época medieval, que han sido incluidas en la

investigación. El empleo de materiales de extracción o fabricación local permitirá incluir los avances tecnológicos obtenidos a través de la evolución de los sistemas en el medio.

Parece indudable que los materiales naturales, como la madera, el corcho o las fibras naturales, tienen una clara ventaja en cuanto a consumo de energía frente al resto de materiales presentes en la industria de la construcción. Su uso ha tenido lugar desde las primeras arquitecturas. Siendo ideales para aplicarse en pequeñas actuaciones, sin embargo, su utilización de forma masiva estará limitada a aquellas regiones o países con abundancia de este tipo de recursos, o a aquellos dispuestos a asumir el coste tanto económico como medioambiental de la energía requerida para su transporte.

Por otro lado, la abundancia de vidrio, aluminio y acero, así como la posibilidad de optimización de su producción introduciendo gran parte del propio material reciclado en el proceso, parece una opción mucho más adecuada y realista para ser empleados como principales materiales de construcción.

Lo que sí resultaría interesante sería continuar empleando la madera en algunos componentes en los que su comportamiento, como hemos visto en los casos estudiados, resulta bastante adecuado. Serían por ejemplo los tableros contrachapados colocados sobre elementos metálicos de forjado que permiten solidarizar la estructura horizontal, o los paneles de rigidización clavados sobre los entramados verticales que han sido empleados a lo largo de la historia.

Superado su estado experimental, la construcción en madera permite hoy apostar por un futuro ecológico e industrializado, que ya podemos adivinar a través de propuestas de amplio alcance que se están realizando en estos momentos como el edificio Tomás Bretón en Madrid, en el que a la industrialización por componentes, a la alta digitalización y a la identificación y eliminación de "desperdicios" propios del *Lean Manufacturing*, se une el empleo de madera "técnica" a través de una estructura realizada enteramente a base de paneles de madera contralaminada.

En este futuro al que nos acercamos se hace presente el carácter tan especial que tiene la madera, que se nos ha transmitido como "debilidad" y que es responsable de que la arquitectura en madera haya sido para nosotros una historia desconocida, de un material incapaz de aportar durabilidad a lo largo del tiempo, y que no daba como resultado edificios eternos como la piedra. Pero las "stavkirke" medievales o las casas tradicionales japonesas ya nos mostraron construcciones innovadoras, imponentes, duraderas, estables y a la vez efímeras y desmontables. No es debilidad, sino que la madera nos transmite cierta idea de delicadeza y también de inteligencia y eficiencia, que no le es tan próxima a otros materiales y que se adecua muy bien a una arquitectura verdaderamente sensitiva a su entorno biológico.

Una vez superados los prejuicios iniciales, es cierto que la construcción tiende cada vez más a emplear soluciones ligeras, más fáciles y rápidas de montar. Para poder

cumplir con los requerimientos actuales de confort interior se podrá proponer la sustitución de la masa ya inexistente en el cerramiento por un uso del aire contenido en las capas construidas a nuestro favor. También podrán ayudarnos nuevos materiales de muy bajo peso y sobradas prestaciones, como los materiales de cambio de fase (PCM), o soluciones tipo Drop Stitch empleadas en la fabricación de tablas de surf.

04. *Precisión en el diseño y fabricación de elementos y uniones.* Para apostar por una arquitectura desmontable que resulte viable, resultará adecuado emplear el mínimo número de elementos diferentes en la construcción. Éstos serán independientes e intercambiables. Cada uno tendrá una identidad clara y perfectamente definida, con unos datos de ciclabilidad asociados que indiquen tanto sus valores de procedencia como sus posibilidades de destino al final de la vida útil de la construcción.

Las piezas se unirán con junta seca, empleando el número óptimo de tipos de anclajes y geometrías de conexión. Las juntas del objeto construido deberán estar diseñadas para permitir múltiples desmontajes y reutilizaciones. Para ello se tendrá en cuenta la integración de las tolerancias adecuadas que permitan la repetición de estos procesos.

Debemos de tener muy presente que todos estos procesos en los que se permite la intercambiabilidad de los elementos están basados en una coordinación dimensional que no siempre es fácil de entender por las distintas marcas de fabricantes que guardan con recelo sus patentes. En este caso, la labor del equipo de diseño es crucial para llegar a obtener resultados que fomenten la construcción “abierta” y la posibilidad de desmontaje y recambio.

Sería interesante ver si en los próximos años la implantación de nuevos métodos integrados de diseño y construcción favorece un mayor intercambio entre los fabricantes, o por el contrario agudiza la tendencia de los sistemas prefabricados desmontables de convertirse en sistemas cerrados derivada de la política de información de elementos que cada fabricante ofrezca al proyectista.

Desde las épocas más antiguas recogidas en esta tesis, podemos observar como peso, forma y dimensión de las piezas ya era entonces determinante para levantar cualquier construcción, y así se perseguiría la facilidad de manipulación, como ocurre en los “talatat” de Tell el-Amarna, rebajar los costes de transporte, como ocurre con las piezas de cubierta del el Templo de Apolo en Bassai, s. IV a.C., o contribuir a la eficacia de la estructura optimizando su sección, como observamos en las piedras de resistencia equivalente del Hieron de Samotracia, s. IV a.C.. También hoy, ayudados por los medios de elevación y transporte más actuales, valoramos el acierto en la conformación de las piezas como uno de los factores claves que llevara al éxito el proceso de montaje y desmontaje de la construcción.

05. *Geometría, forma y proporción*. Resulta adecuado pensar que la tecnología mecánica de lo natural representa un primer paso hacia la comprensión de la tecnología humana. No debemos olvidar que los diseños naturales y las invenciones del hombre se han generado sobre el mismo planeta, bajo las mismas leyes físicas, y con la misma materia. Caparazones redondeados, materiales moldeados con matrices o estructuras onduladas son reconocidas como soluciones óptimas tanto por la tecnología humana como por la naturaleza. Pero ambas formas de actuar y de inventar presentan profundas diferencias. La tecnología de los organismos es el resultado de la evolución por selección natural mientras que el descubrimiento y el desarrollo dan origen al plan del diseño humano. Nuestras estructuras son rígidas frente a las formas flexibles y de resistencia equivalente predominantes en la naturaleza. Las bisagras naturales no giran sino doblan. Cualquier vehículo del medio natural se mueve sin utilizar ni una sola rueda. Las fábricas de lo vivo hacen objetos muchísimo más grandes que su propio tamaño. La naturaleza atiende más a la adaptación para alcanzar el funcionamiento óptimo obteniendo diversas variantes del mismo modelo que a la precisión que perseguimos en nuestros procesos.

La naturaleza, además, geometriza. Las leyes físicas provocan regularidad. La tendencia a la forma esférica de algunos organismos, el crecimiento en espiral de las plantas, los desarrollos simétricos, las superficies de doble curvatura o la catenaria son soluciones adoptadas continuamente por lo natural. Además, la misma forma es capaz de manifestarse con distintos tamaños dando lugar a un sistema de proporciones geométricas en los organismos vivos.

El primer constructor tomará las formas simples de lo natural: círculos, esferas…y también la perpendicular. Pero pronto perderá esta referencia tan literal para experimentar, adaptando la forma a las exigencias físicas, funcionales y culturales del medio. Para ello creará un plan, un plan geométrico, un conjunto de relaciones que definirán la construcción. Y de ese plan surgirá el módulo, origen de las relaciones y proporciones, que se manifestará a través de los números. La geometría será la herramienta que permitirá obtener un ser formal coherente.

Superados los inicios de la arquitectura, en los que el módulo establecerá la base de la racionlización de la forma, la geometría pronto tendrá la misión de coordinar la descomposición del edificio en piezas repetidas que puedan producirse industrialmente. Se introducirá la idea de montaje, y con ella la de posibilidad de desmontaje de los distintos sistemas. La modulación pasará entonces a ser también racionalización de la construcción. Posteriormente el trazado se irá deformando y la topología tomará el protagonismo en la concepción del espacio.

Hoy existe un concepto industrial muy diferente al de la repetición en serie, y la industria ofrece tecnologías posibles más que productos acabados que nos permiten la generación de geometrías orgánicas. Todo esto ofrece un nuevo campo de

experimentación. Pero la geometría es exigente y establecerá los límites para llegar finalmente a la integridad y la coherencia de la forma. Habrá que tenerlo en cuenta.

06. *División funcional de los componentes del edificio*. La división funcional estará asociada a su uso del edificio e incluirá la especificación de las partes fijas y las partes reemplazables del mismo. Las soluciones desmontables permitirán reutilizar aquellos elementos con un ciclo de vida funcional menor que su ciclo de vida material. De este modo se evitarán incompatibilidades en las operaciones de desmontaje.

Para incorporar la opción del desmontaje, el edificio se deberá de poder definir a través de fracciones que puedan ser producidas, ensambladas y desmontadas de manera independiente.

El montaje en paralelo primará sobre el montaje secuencial, de manera que se pueda realizar un desmontaje de las partes individuales sin interferir con otras partes de edificio en los procesos de desmantelamiento facilitando así el proceso.

El ensamblaje, y por tanto el desmontaje, seguirán un orden sistemático previamente establecido que deberá identificar los elementos más sensibles para su desmontaje. Se deberá favorecer el acceso a aquellos componentes con menor ciclo de vida.

07. *Sencillez de fabricación y eficiencia de montaje-desmontaje*. Como ya ocurría en las primeras arquitecturas con alto potencial de desmontaje incluidas en esta investigación, el diseño se vinculará a las condiciones de fabricación, seleccionando procesos, materiales (incluyendo aquellos supraciclados) y técnicas de construcción económicamente viables y simplificando los procesos de producción. Al mismo tiempo la definición del proceso de construcción tendrá que encargarse de reducir tiempos, costes y complejidades de montaje y desmontaje, optimizando el número de componentes y las fases de implantación.

De este modo se atenderá al binomio taller y obra: las piezas se podrán conectar en taller formando conjuntos prefabricados cuyo montaje será más fácil y rápido en obra. El desmontaje se realizará de manera inversa, en obra y en el taller, resultando en un mayor control de la circulación de elementos. Se avanzará sobre las deficiencias detectadas mediante procedimientos de adaptación y mejora.

La arquitectura siempre buscó repetir sus modelos, y casi siempre mostró su predisposición a producirse en serie. Pirámides, templos, catedrales, *minka* .... Este fenómeno de repetición y copia también se encuentra en las arquitecturas estudiadas del primer periodo, de la Antigüedad y hasta la Revolución Científica. Todas las pagodas de tres pisos son básicamente iguales, y por eso funcionan, y lo siguen haciendo. Se busca la mejor solución en cada caso, repitiéndose y optimizándose,

aplicando la tecnología del momento, y admitiendo cambios únicamente cuando implican una mejora significativa. Sorprende lo cerca que pueden llegar a estar tradición e industria. Las pagodas podrían atender a una seriación integral y levantarse cada una de ellas en sus restauraciones con piezas producidas en serie, convirtiéndose en un sistema integral ensamblado por componentes obtenidos en las fábricas. Se dispone de toda la información para ello. Pero, a pesar del alto grado de estandarización presente en esta cultura, la arquitectura tradicional japonesa no mecaniza la construcción ni elimina la artesanía. No prescinde del carpintero.

08. *Compatibilidad en el mantenimiento.* Se podrán incluir distintos periodos de mantenimiento dentro del mismo objeto desmontable construido. Estas operaciones de mantenimiento podrán integrar distintas técnicas e implicar a distintos agentes que deberán ser compatibles entre sí. La definición del escenario de uso del edificio deberá integrar tanto escenarios a corto como a largo plazo.

Si los mismos criterios que se aplican en "la gran parada", que implica el desmantelamiento completo de una aeronave cada diez años para proceder a su mantenimiento, se transfirieran a las técnicas arquitectónicas, se introducirían, además del inmediato ahorro de recursos, diversas mejoras como la desconexión de nuestras construcciones del lugar original de construcción posibilitando su montaje en otro emplazamiento, ampliarían la responsabilidad de mantenimiento de los propietarios, pero sobre todo la posibilidad de introducción de mejoras inmediatas parciales en sistemas aislados, como pueden ser las instalaciones, con tecnologías más eficientes.

En este punto cabe mencionar la gran durabilidad de algunas de las construcciones en madera de las primeras épocas estudiadas. La incorporación de sencillas prácticas constructivas, como la inclusión de pequeños drenajes longitudinales, la cubrición de la base de las columnas con elementos reemplazables, o la anexión de elementos de protección exteriores permitieron conservar en buen estado los distintos elementos constructivos. Además, destaca la precisión en la conformación de los elementos de ensamblaje. La intención era obtener una construcción fuerte y duradera con el material que les era propio.

09. *Control del plazo.* El factor tiempo tiene una una importancia fundamental en el proceso edificatorio. La capacidad del equipo del proyecto para reaccionar dentro de los plazos definidos por el cliente es un ingrediente esencial para llegar al éxito. La innovación no siempre se consigue de manera rápida, lo que hace necesario distinguir cuando un proyecto dispone de tiempo y recursos suficientes para optar por el desarrollo de nuevas tecnologías, o cuando es preferible utilizar materiales y componentes ya desarrollados para otros sistemas utilizando procesos industriales convencionales.

10. *Procesos de producción.* Hoy existen empresas, ajenas al sector de la construcción, que proponen una posible solución para la producción en serie real de edificios. Sin embargo, los edificios comercializados por ellas tienden a llamar la atención por su escaso desarrollo técnico y constructivo frente a sus innovadores procesos de producción en continua evolución. Se tiende a unificar la forma, dimensión y detalles de ensamblaje de los elementos, favoreciendo el intercambio de componentes al mismo tiempo que se pierde eficiencia estructural y constructiva, dando prioridad al desarrollo del proceso de producción.

Estas empresas ofrecen un espacio ideal para potenciar el desmontaje y la recuperación de elementos que pueden ser integrados de nuevo en su cadena de producción. Resulta relevante que en estos tres casos la figura del arquitecto haya pasado a un segundo plano integrándose como un agente más del proceso edificatorio.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la investigación realizada para la tesis doctoral, se han detectado varios temas que podrían derivar en nuevas líneas de investigación. Se describen brevemente en las siguientes líneas.

Los casos incluidos en el documento hacen que la propia tesis pudiera ser el inicio de una base de datos o de información en relación al desmontaje en la arquitectura. A partir de estos casos se podría realizar catálogo interactivo de los procesos de desmontaje asociados al objeto construido.

Además, prácticamente todos casos presentados en la tesis contienen en sí mismos factores que permitirían la realización de investigaciones particulares en relación a cada uno de ellos.

Por otro lado, el Altas del Desmontaje incluido como anexo al documento de tesis podría ser ampliado, introduciendo nuevas imágenes y nuevos conceptos distintos a los incluidos en esta investigación. También se podría extender a otras disciplinas directamente relacionadas con la arquitectura, como pudieran ser el ámbito de los electrodomésticos, el de los enseres domésticos o el de los artefactos diseñados para el transporte.

Por último, los datos incluidos en la tesis permitirían iniciar el diseño de un protocolo global entre arquitectura e industria en torno a la posibilidad de desmontaje de nuestras construcciones. Este protocolo podría contar con los medios y herramientas disponibles en el mercado orientados a la correcta gestión de los recursos necesarios

en el ámbito que nos ocupa, ya fueran constructivos, económicos o humanos. De este modo, esta investigación, y las relacionadas con ella, servirían de medio teórico que podría ser empleado para definir un protocolo de aplicación real en relación al desmontaje y reutilización de nuestras construcciones.

CONCLUSIONS

The work presented has sought to establish the possibilities of disassembling our constructions based on the processes of creating the oldest architectures. The theoretical position from which it is approached allows a general understanding of mankind and its environment. This finds its limit where the experience begins as a practical application of the creation of the object, whose testimonies have been part of the different sections of the body of the document.

The discourse has been approached from a broad point of view, proposing, in parallel and at the same time, concrete architectural and technical solutions. In this way, the document aims to initiate a dialogue not only with specialists in the main topic of the research, but also with the general public interested in participating in the ideas presented here.

Energy and matter give rise to a world, ours, in which the sun and the earth are established as the main elements of an essentially closed system full of precious and limited resources. Everything we do and build must be an inseparable part of this system. This permit includes the first part of the document: reversible and natural.

Opportunity, mutability, durability, materiality, lightness, cyclability, have been established as summaries of the theoretical concepts in relation to demountability and reversible construction processes that are part of this chapter. These are terms that end in '-ity', a suffix of Latin origin that in Spanish (-dad) forms, from adjectives, abstract nouns of quality. They intend to establish the stable framework on which to develop the rest of the concepts enunciated in the research.

The mechanics of what we build is presented as the field in which to search for the most optimal techniques for dismantling the architectures we build. It is done without losing sight of the mechanics of nature. It is appropriate, since they both share the same laws. This is the approach from which the second part of the thesis has been developed: disassembly.

Proportion, conformation, union, precision, construction and division are established as the terms used in this chapter to introduce more technical concepts related to the reversibility of constructions. These are words that end in '-ion', a suffix that forms nouns of action or effect, and that in research enunciate the processes that will lead to the reality of disassembly.

In architecture, ideas are not only transmitted through the word. In the discipline at hand, we are very lucky that all architecture is a valuable and inexhaustible discourse. This appears clearly and evidently in Ancient architecture. And it is precisely that period that is presented as the temporary beginning of the research, giving rise to the third part of the document: evolution and future.

Simple support, push and pull, elastic joint, post and lintel, skeleton and wall and digital fabrication are established as the pairs of terms that define the concepts related to the constructive definition under which constructions have been erected throughout

history, related to disassembly. In this third part, the research delves more decisively into the fields of engineering and architecture, in what is related to the removable, throughout our history.

As conclusions of the research, and responding to the main objective of the same, the 'strategies for the design of reversible architecture' obtained during the development of this thesis are presented below.

STRATEGIES FOR THE DESIGN OF REVERSIBLE ARCHITECTURES

.....

01. Definition of the scenario. In the 1992 publication, IL23: Structure 7, Frei Otto explained that there is virtually no design or structure that has completely disappeared after its invention. He argued that replacing what is already technically effective with what is even more technically effective is typical of technological development, and can often lead to the disappearance of entire technologies. Nevertheless, essential innovative ideas remain active, even if they only continue to exist in small areas. The area of traditional construction is an exceptional refuge for these ancient technologies. Even in current times, we have the opportunity to continue learning from the past.

Just as traditional architecture always responded to its environment, not all countries build in the same way or under the same conditions. If we look at the climate, the extreme temperatures that occur for several months a year in the Nordic countries force the architects to reduce outdoor construction work as much as possible, resulting in systems with up to 90% of 'off-site' components. On the contrary, the warm climate of our geography allows outdoor construction work allowing proposals with a lower rate of prefabrication.

Taking into account that the construction industry has always been a key spring to reactivate the economy of a region, it must be possible to integrate updated construction systems into the economy, allowing an optimal response to the different circumstances and leaving behind the monolithic systems developed in the mid-twentieth century. In this sense, removable solutions seem more than an adequate option.

The explosive growth of some cities and the uncontrolled decline of others has our sector to research new construction methods. The use of systems that allow their disassembly opens the opportunity to obtain greater speed, quality and control in the construction and dismantling processes, ease of recovery of parts in dry joint systems, lightening of components, or immediate energy savings due to the recycling and reuse of elements.

In the East, although the periodic renovation of buildings, which currently takes place in any Japanese city, is driven by economic interests, and the construction systems

used today do not always contribute to a correct disassembly, the renovation as an intrinsic foundation of its culture has prepared the means to take the step towards the generalization of a totally disassemblable architecture.

In fact, it still seems reasonable to think that buildings with a claim of great permanence in time do not have the character of removable.

02. Integration from the early stages. Once the different phases in the development of the construction process - design, manufacture, supply, transport and commissioning - have been identified, the disassembly and destination of each of the components of the building at the end of its useful life must be integrated into the design and construction process from the first phases of the project.

Likewise, systems that intend to opt for disassembly at the end of their useful life must bring together the interests of all the agents involved, including customers and end users of the construction, from the beginning of the process. The means and manufacturing technologies involved must be present throughout the process, participating in the constructive decisions at all times. A market with an adequate dimension that allows the materialization of the proposed removable solutions must be achieved prior to the design phase.

In the life span of a building, there always comes a time when its transformation is necessary, and a decision must be made between its rehabilitation, its restructuring or simply its demolition. In addition, although this decision is usually made many years later, it is completely conditioned by the criteria that were taken during the first stages of the project. If, during the project phase, the building was created as a set of open systems that will allow the disassembly and replacement of obsolete components and the entry of new physical and functional components, continuity will be ensured.

03. Use of locally extracted or manufactured materials. The limitation in the variety of materials used will lead to clearer solutions and greater control in design and manufacturing, as was already the case in the architectures of the Ancient times, and also in those of medieval times, which have been included in the research. The use of locally extracted or manufactured materials will allow the inclusion of the technological advances obtained through the evolution of the systems in the environment.

It seems undeniable that natural materials, such as wood, cork or natural fibres, have a clear advantage in terms of energy consumption compared to the rest of the materials present in the construction industry. Its use has taken place since the first architectures. Being ideal to be applied in small actions, however, its massive use will be limited to those regions or countries with an abundance of this type of resources,

or to those willing to assume the economic and environmental cost of the energy required for its transport.

On the other hand, the abundance of glass, aluminium and steel, as well as the possibility of optimizing their production by introducing much of the recycled material itself into the process, seems a much more suitable and realistic option to be used as main construction materials.

What would be interesting would be to continue using wood in some components in which its behaviour, as we have seen in the cases studied, is quite adequate. These would be, for example, plywood boards placed on forged metal elements that allow the solidification of the horizontal structure, or stiffening panels nailed to the vertical trusses that have been used throughout history.

Having overcome its experimental state, wood construction today allows us to bet on an ecological and industrialized future, which we can already guess through wide-ranging proposals that are currently being made, such as the Tomás Bretón building in Madrid, in which industrialization by components, high digitalization and the identification and elimination of 'waste', typical of Lean Manufacturing, is combined with the use of 'technical' wood through a structure made entirely of cross-laminated wood panels.

In the future that we are approaching, the very special character of wood is present. It has been transmitted to us as 'weakness', this fact being the reason that wood architecture has been an unknown history for us; a material incapable of providing durability over time, and that did not result in eternal buildings like stone. However, the medieval ‘stavkirke’ or traditional Japanese houses have already shown us innovative, imposing, durable, stable and at the same time ephemeral and removable constructions. It is not weakness, but wood conveys a certain idea of delicacy and also of intelligence and efficiency, which is not so close to other materials and which adapts very well to an architecture that is truly sensitive to its biological environment.

Once the initial prejudices have been overcome, it is true that construction tends to use lighter solutions, easier and faster to assemble. In order to meet the current requirements of interior comfort, it may be proposed to replace the mass already non-existent in the enclosure with a use of the air contained in the layers built in our favour. New materials with very low weight and ample performance can also help us, such as phase change materials (PCM), or Drop Stitch solutions used in the manufacture of surfboards.

04. Precision in the design and manufacture of elements and joints. To go for a viable removable architecture, it will be appropriate to use the minimum number of different elements in the construction. These will be independent and interchangeable. Each one will have a clear and perfectly defined identity, with associated cyclability data

indicating both its origin values and its destination possibilities at the end of the construction's useful life.

The parts are to be joined with a dry joint, using the optimal number of types of anchors and connection geometries. The joints of the constructed object must be designed to allow multiple disassembly and reuse. For this, the integration of the appropriate tolerances that allow the repetition of these processes will be taken into account.

It must not be forgotten that all these processes in which the interchangeability of the elements is allowed are based on a dimensional coordination that is not always easy to understand by the different brands of manufacturers that guard their patents with suspicion. In this case, the work of the design team is crucial to obtain results that promote 'open' construction and the possibility of disassembly and replacement.

It would be interesting to see if, in the coming years, the implementation of new integrated design and construction methods favours a greater exchange between manufacturers, or, on the contrary, it sharpens the tendency of removable prefabricated systems to become closed systems derived from the information policy of elements that each manufacturer offers to the designer.

Weight, shape and size of the pieces were decisive, and thus the ease of handling would be pursued, as in the 'talatat' of Tell el-Amarna, reducing transport costs, as in the case of the roof pieces of the Temple of Apollo in Bassai, 4th century BC, or contributing to the effectiveness of the structure by optimizing its section, as we see in the stones of equivalent strength of the Hieron of Samothrace, 4th century BC. Also today, helped by the most current lifting and transport means, we value the success in the conformation of the parts as one of the key factors that will lead to the success of the process of assembly and disassembly of the construction.

05. Geometry, shape and proportion. It is appropriate to think that the mechanical technology of the natural represents a first step towards the understanding of human technology. We must not forget that the natural designs and inventions of man have been created on the same planet, under the same physical laws, and with the same matter. Rounded shells, moulded materials with matrixes or corrugated structures are recognized as optimal solutions by both human technology and nature. However, both ways of acting and inventing have profound differences. The technology of organisms is the result of evolution by natural selection while discovery and development give rise to the plan of human design. Our structures are rigid in the face of the flexible forms and equivalent strength prevailing in nature. Natural hinges do not rotate, but bend. Any vehicle in the natural environment moves without using a single wheel. The factories of the living make objects much larger than their own size. Nature is more attentive to adaptation to achieve optimal performance by obtaining various variants of the same model than to the precision we pursue in our processes.

Nature, moreover, geometrizes. Physical laws cause regularity. The tendency to the spherical shape of some organisms, the spiral growth of plants, symmetrical developments, double curvature surfaces or the catenary are solutions continuously adopted by nature. In addition, the same shape is capable of manifesting itself with different sizes, giving rise to a system of geometric proportions in living organisms.

The first constructor will take the simple forms of the natural: circles, spheres... and also the perpendicular. Soon, it will lose this literal reference to experiment, adapting the form to the physical, functional and cultural demands of the environment. To do this, it will create a plan, a geometric plan, and a set of relationships that will define the construction. Moreover, from that plan will emerge the module, origin of the relationships and proportions, which will be manifested through the numbers. Geometry will be the tool that will allow obtaining a coherent formal being.

Having overcome the beginnings of architecture, in which the module will establish the basis for the rationalization of form, geometry will soon have the mission of coordinating the decomposition of the building into repeated pieces that can be produced industrially. The idea of assembly will be introduced, and with it the possibility of disassembly of the different systems. Modulation will then also become rationalization of construction. Subsequently, the layout will be deformed and the topology will take centre stage in the conception of the space.

Today, there is a very different industrial concept than serial repetition, and the industry offers possible technologies rather than finished products that allow us to generate organic geometries. All this offers a new field of experimentation. Nevertheless, geometry is demanding and will set the boundaries to eventually arrive at integrity and consistency of form.

06. Functional division of building components. The functional division will be associated with your use of the building and will include the specification of the fixed parts and replaceable parts thereof. Detachable solutions will allow reusing those elements with a functional life cycle less than their material life cycle. This way, incompatibilities in disassembly operations will be avoided.

To incorporate the option of disassembly, the building must be able to be defined through fractions that can be produced, assembled and disassembled independently.

Parallel assembly will take precedence over sequential assembly, so that disassembly of the individual parts can be carried out without interfering with other parts of the building in the dismantling processes, thus facilitating the process.

The assembly, and therefore the disassembly, will follow a previously established systematic order that will identify the most sensitive elements for disassembly. Access to those components with a shorter life cycle should be encouraged.

07. Simplicity of manufacture and efficiency of assembly-dismantling. As was already the case in the first architectures with high disassembly potential included in this research, the design will be linked to the manufacturing conditions, selecting economically viable processes, materials (including those upcycled) and construction techniques and simplifying production processes. At the same time, the definition of the construction process will have to reduce assembly and disassembly times, costs and complexities, optimizing the number of components and the implementation phases.

In this way, the binomial workshop and work will be attended to: the pieces can be connected in the workshop forming prefabricated assemblies whose assembly will be easier and faster on site. The disassembly will be carried out inversely, on-site and in the workshop, resulting in greater control of the circulation of elements. Progress will be made on the deficiencies detected through adaptation and improvement procedures.

Architecture always sought to repeat its models, and usually showed its predisposition to mass production. Pyramids, temples, cathedrals, minkas ... This phenomenon of repetition and copying is also found in the architectures studied from the first period, from Ancient times up to the Scientific Revolution. All three-story pagodas are, basically, the same, and that's why they work, and they keep doing it. The best solution is sought in each case, being repeated and optimized, applying the technology of the moment and admitting changes only when they imply a significant improvement. It is surprising how close tradition and industry can become. The pagodas could attend to an integral series and each of them could be raised in its restorations with pieces produced in series, becoming an integral system assembled by components obtained in the factories. All the information is available for this. However, despite the high degree of standardization present in this culture, traditional Japanese architecture does not mechanize construction or eliminate craftsmanship. It does not remove the carpenter.

08. Maintenance compatibility. Different maintenance periods may be included within the same constructed detachable object. These maintenance operations may integrate different techniques and involve different agents that must be compatible with each other. The definition of the building use scenario must integrate both short and long-term scenarios.

If the same criteria that are applied in "the big stop", which implies the complete dismantling of an aircraft every ten years to proceed with its maintenance, were transferred to architectural techniques, in addition to the immediate saving of resources, various improvements would be introduced, such as the disconnection of our constructions from the original construction site, making it possible to assemble

them at another site, increasing the responsibility for maintenance of the owners, but above all the possibility of introducing immediate partial improvements in isolated systems, such as facilities, with more efficient technologies.

At this point, it is worth mentioning the great durability of some of the wooden constructions of the early periods studied. The incorporation of simple construction practices, such as the inclusion of small longitudinal drains, the covering of the base of the columns with replaceable elements, or the annexation of external protection elements allowed the different construction elements to be preserved in good condition. In addition, it highlights the precision in the conformation of the assembly elements. The intention was to obtain a strong and durable construction with the material that was their own.

09. Term control. The time factor is of fundamental importance in the building process. The project team's ability to react within client-defined timelines is an essential ingredient to success. Innovation is not always achieved quickly, which makes it necessary to distinguish when a project has sufficient time and resources to opt for the development of new technologies, or when it is preferable to use materials and components already developed for other systems using conventional industrial processes.

10. Production processes. Nowadays, there are companies, outside the construction sector, that propose a possible solution for the real mass production of buildings. However, the buildings marketed by them tend to attract attention due to their poor technical and constructive development in the face of their innovative production processes in continuous evolution. They tend to unify the shape, dimension and assembly details of the elements, favouring the exchange of components while losing structural and constructive efficiency, giving priority to the development of the production process.

These companies offer an ideal space to promote the disassembly and recovery of elements that can be integrated back into their production chain. It is relevant that in these three cases the figure of the architect has taken a back seat, becoming an agent of the building process.

FUTURE LINES OF RESEARCH

During the development of the research carried out for the doctoral thesis, several topics have been detected that could lead to new lines of research. They are briefly described in the following lines.

The cases included in the document mean that the thesis itself could be the beginning of a database or information in relation to disassembly in architecture. From these cases, an interactive catalogue of the disassembly processes associated with the built object could be made.

In addition, practically all cases presented in the thesis contain in themselves factors that would allow the carrying out of particular investigations in relation to each of them.

On the other hand, the Disassembly Atlas included as an annex to the thesis document could be expanded, introducing new images and new concepts other than those included in this research. It could also be extended to other disciplines directly related to architecture, such as appliances, household goods or devices designed for transport.

Finally, the data included in the thesis would make it possible to initiate the design of a global protocol between architecture and industry around the possibility of dismantling our constructions. This protocol could have the means and tools available in the market aimed at the correct management of the necessary resources in the field in question, whether constructive, economic or human. In this way, this research, and those related to it, would serve as a theoretical means that could be used to define a real application protocol in relation to the disassembly and reuse of our constructions.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

ARAUJO, R. *La arquitectura como técnica. I*. Superficies. ATC Ed. Madrid 2007.

ARAUJO, R. *La arquitectura como técnica. II*. Construir en altura. Editorial Reverte. Madrid 2012.

ARAUJO, R., AZPILICUETA, E. *El mito industrial.* Revista: TECTÓNICA 38. ATC Ediciones S.L. 2012.

CHOISY, A. *Historia de la Arquitectura.* Victor Lerú, Buenos Aires, 1970.

BRAUNGART, M; MCDONOUGH, W. *Cradle to cradle. (De la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Ed. Mc Graw Hill 2005.

EHRENKANTZ, E. *Architectural systems: a needs, resources and design approach*. Mac Graw-Hill, 1989.

GIBBS, J. *Muros de bloques de hormigón con encofrados de madera*. British Goverment. European Patent Register. EPO. 1850. Patente no.13071

GIEDION, S. *El presente eterno: los comienzos de la arquitectura*. Alianza Editorial, 1981

GIEDION, S. *La arquitectura, fenómeno de transición*. Gustavo Gili. Barcelona 1975.

GIEDION, S. *La mecanización toma el mando*. Gustavo Gili. 1978.

KUROKAWA, K. *Intercultural Architecture. The Philosophy of Symbiosis*. The American Institute of Architects Press (pp. 90-97). Washington D.C., 2006.

LAVALOU, A. *Conversaciones con Jean Prouvé*. Gustavo Gili. 2005.

MARK, R. *Light, wind and structure : the mystery of the master builders*. MIT Press. 1990.

MARK, R. *Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica*. Ediciones Akal. 2002.

NEMRY, F. y UIHLEIN, A. *Informe IMPROBuilding (Potenciales de Mejora Medioambiental de los Edificios Residenciales).* Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (CCI). 2008.

NEUFERT, E. *Arte de proyectar en arquitectura*. Gustavo Gili. Barcelona, 1995.

OTTO, F. *Alte Baumeister: was könnten die alten Baumeister erfunden haben? IL 37.* Krämer. Stuttgart, 1994.

OTTO, F. *Gridshells. IL 10*. Krämer. Stuttgart, 1974.

PETERS, B y PETERS, T. *Inside Smartgeometry. Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design.* John Wiley & Sons Ltd. 2013.

PEREZ ARROYO, S. RC – *RESÚMENES DE CONSTRUCCIÓN/BUILDING FILES*. Rueda. 1998.

SALAS, J. La industrialización en las proclamas y manifiestos de Arquitectura. Alojamiento y Tecnología: ¿Industrialización Abierta?. Madrid: CSIC-CIDE, 1981.

SECO, E. *La unión en arquitectura*. Revista: TECTÓNICA 7. ATC Ediciones S.L. 1998.

VOGEL, S. *Ancas y palancas. Mecánica natural y mecánica humana.* Barcelona:Tusquets, 2000.

BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA

.....

CAPITULO 1 · REVERSIBLE Y NATURAL

AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION. Reglas básicas para construir una casa. APA 1993.

ANDERSON, R. MidCourse Correction. Toward a Sustainable Enterprise: the Interface model. Chelsea Green Pub Co. 1999.

ARAUJO, R. *El edificio como intercambiador de energía*. Revista TECTÓNICA no 28. ATC Ediciones S.L. Marzo 2009.

ARRIAGA, F. et AL. Guía de construir con madera. Productos de madera para la construcción. Ed. Construir con madera CONFEMADERA. 2010

ARRIAGA, F. et AL. Intervención en estructuras de madera. AITIM 2002.

AZPILICUETA, E. Hacia un óptimo energético. Instalaciones y energía. Revista TECTÓNICA no 31. ATC Ediciones S.L. 2010.

AZPILICUETA, E. Tablas de contenido energético o energía primaria de los materiales. Revista TECTÓNICA no 31. ATC Ediciones S.L. 2010.

BANHAM, R. La Arquitectura del Entorno Bien Climatizado. Infinito. Buenos Aires, 1975.

BRAND, S. How buildings learn: What happens after theyre built. Penguin Books. 1995.

BENZINBERG STEIN, A.; NAKAGAWA, T. et AL. Historic Cities and Sacred Cities. Cultural Roots for Urban Futures. Washington: The World Bank, 2000.

FITCHEN, J. Building Construction Before Mechanization, The MIT Press, Cambridge. 1986.

JUNQUERA I VIES, O; MADRID i MORALES, D et AL. Historia de Japón: economía, política y sociedad. Barcelona: UOC, 2012.

KARAN, P. Japan in the 21st Century. Environment, Economy and Society. Kentucky: The University Press of Kentucky, 2005.

KIBERT, C.: SENDZIMIR, J.; GUY, B. University of Florida, Construction ecology and metabolism. Conference Proceedings CIBTG 39, Germany 2002.

KIERAN, S. y TIMBERLAKE, J. Refabricating architecture. McGrawHill. 2007.

LAWRENCE, R. G. The Wabi-Sabi House: The Japanese Art of Imperfect Beauty. New York: Crown Publishing Group, 2004.

PERAZA, F. et AL. Guía de la madera. AITIM. 2010.

SÁENZ DE OÍZA, F. J. Apuntes de Salubridad e Higiene. T6 Ediciones. Madrid, 2010.

SMITH, W.F. Fundamentos de la ciencia de materiales. Mc.Graw Hill Interamericana de España S.A. Madrid 1993.

SOBEK, W. The future of sustainable architecture: ressources, recyclability and ultralightweight. Revista Architecture and Urbanism, 2014:05; no.524: 69.

SPEIDEL, M. Bruno Taut: Il mio punto di vista sull´architettura giapponese en Casabella año LXIV. Marzo 2000. Milan: 2000. pp. 10-15.

TAUT, B. Houses and People of Japan. 2nd ed. Tokyō: Sanseido, 1958.

TSUKUSHI, N. Amaterasu no Tanjo. Tokyo 1962.

YOUNG, D; YOUNG, M. Introduction to Japanese Architecture. Singapore. Periplus Editions, 2004.

YOUNG, D; YOUNG, M. The Art of Japanese Architecture. Vermont (USA): Tuttle Publishing, 2004.

ZWERGER, K. Wood and Wood Joints. Building traditions of Europe, Japan and China. Birkhäuser. 2011.

.....

CAPITULO 2 · DESMONTAJE

ADAM, J.P. La construcción romana, materiales y técnicas. Editorial de los Oficios. 1996.

ADELL, J.M. ; VEGA, S. La fachada contemporánea con ladrillo: cerramientos tipo. Informes de la Construcción, 56(495:13-31). 2005.

ARAUJO, R; SECO, E. *La casa en serie*. ETSAM. UPM. Madrid, 1991.

ARGÁN, G.C. ; Proyecto y destino. Caracas. Editorial Universidad Central de Venzuela, 1965.

BERGER, H. *Light structures, structures of light*. Birkhäuser. 1996.

BROUWER ET AL. Capacity to Change Index. Technische Universiteit Delft, Faculty of Architecture. 1990

BROUWER, J. Designing and making – creativity and routine. Designing Sustainability. Technische Universiteit Delft, Faculty of Architecture. 1998

CÁMARA NIÑO, A. Apuntes de construcción III: construcción en madera. ETSAM. 1974.

CASINELLO, F. Arcos de ladrillo. Manuales y normas del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. CSIC. Madrid, 1968.

CASINELLO, F. Bóvedas y cúpulas de ladrillo. Manuales y normas del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. CSIC. Madrid, 1969.

CHOISY, A. El arte de construir en Egipto. CEHOPU Juan de Herrera. Madrid, 2006.

CHOISY, A. El arte de construir en Roma. CEHOPU Juan de Herrera. Madrid, 1999.

CHRISTENSEN, P. Home delivery. Fabricating the modern dwelling. Birkhäuser. MOMA. 2008.

COALDRAKE, W. The Way of the Carpenter. Tools and Japanese Architecture. New York: Wetatherhill Inc, 1990.

COULTON, J.J., Ancient Greek Architects at Work. Problems of structure and design. Cornell University Press. New York, 1977.

DEL AGUILA, A. La Industrialización de la Edificación de Viviendas. Ed. Mairea. Madrid, 2008.

DUFFY, F. Design for change: the architecture of DEGW. Birkhäuser. 1998.

EYMAR, J.M.; PUENTE, J. Bloques de hormigón para muros. Bilbao: Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. CSIC. 1958.

FRANKE, R. Closed and open building a comparative study of sustainable building. Graduation theses at Cardiff University, Faculty of Architecture. 2002.

GÓMEZ JAÚREGUI, V. Habidite: viviendas modulares industrializadas. Revista INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, 61(513:33-46) 2009.

HABRAKEN, N. J. El diseño de soportes. Gustavo Gili. 1979.

HART, HENN, SONTAG. Atlas de la construcción metálica. Gustavo Gili. 1976.

HEYMAN, J. Estructuras de fábrica. CEHOPU, Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1995.

JIMÉNEZ, L.A. Ontología Orientada a Objetos una nueva teoría del todo. Análisis. Revista de investigación filosófica, 7, 1, 2020.

KIYOSHI, S. The Art of Japanese Joinery. Boston: Weatherhill,1977.

LABÈRNIA I BADIA, C. Guía de construir con madera. Ejecución, control y mantenimiento. Ed. Construir con madera CONFEMADERA. 2010

LE CORBUSIER. Le Corbusier Oeuvre Complète 1910-1929. Zurich: Les Editions dArchitecture (Artemis, 1934)

LIPSON, H.; KURMAN, M. La revolución de la impresión 3D. Editorial Anaya. 2015.

LLORENS, J; SOLDEVILLA, A. Viviendas económicas realizadas con bloques de hormigón. Experiencias y prototipos. Revista INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, 34 (344-345):35-43, 1982

MCCARTER, R. Aldo van Eyck. New Haven. Yale University Press. Londres, 2015.

MOYA BLANCO, L. Cuaderno de apuntes de construcción 192425. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 1993.

MULLIGAN, Mark; LIPPIT, Yukio. The thinking hand. Tools and Tradition of the Japanese Carpenter. Edwin O. Reischauer Institute of Japanese Studies, Harvard University, 2014.

OTTO, F. Form Force Mass 3 – Structure. Institute for Lightweight Structure (IL23). University of Stuttgart, 1992.

PEREZ ARROYO, S. Industrializar. Revista INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN vol. 60 no 512. CSIC. CSIC.

QUEIPO DE LLANO, J. ET AL. Guía de construir con madera. Conceptos básicos de la construcción con madera. Ed. Construir con madera CONFEMADERA. 2010

RODRÍGUEZ NEVADO, M.A. Diseño Estructural en Madera. AITIM. 1999.

RONDELET, J.B. Lárt de bâtir. Instituto Juan de Herrera. 2001.

ROVIRA, A. El hierro: sus cortes y enlaces. Librería de Ribó y Marín. Barcelona 1900.

ROVIRA, A. Estereotomía de la piedra. Librería y estampería artística . Barcelona 1897.

ROVIRA, A. La madera y su estereotomía. Librería de Álvaro Verdaguer. Barcelona 1900.

RUIZ LARREA, C et AL. Arquitectura, Industria y Sostenibilidad. Revista INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN vol. 60 no 512. CSIC. 2018.

RUUSUVORI, A. Concrete Spaces (pp. 50-51). Helsinki: Museum of Finnish Architecture. 2000.

SALAS, J.; OTEIZA, I. Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible. Revista INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, 61(513:11-31) 2009.

SEIKE, K. The Art of Japanese Joinery. 13th ed. Boston: Weatherhill, 2013.

STAIB, G. ET AL. Components and systems. Modular construction. Design structure. New technologies. BirkhäuserDetail. 2008.

VIOLLET-LE-DUC, E. La construcción medieval. CEHOPU Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1998,

VITRUVIO, M. Ten books on architecture. Cambridge University Press. 1999.

WACHSMANN, K. Wendepunkt im Bauen. Krausskopf Verlag. 1959.

WARD-PERKINS, J.B. Arquitectura romana. Aguilar. Madrid, 1976.

YEOMANS, D. The Development of Timber as a Structural Material. Ashgate Publishing Ltd. 1999.

.....

CAPITULO 3 · EVOLUCIÓN Y FUTURO

ALMAGRO, M. El Templo de Debod. Instituto de Estudios Madrileño. 1971.

AUNE, P; SACK, R.L.; SELBERG, A. Investigación y Ciencia , 85 (octubre 1983) 74-83.

AZBY BROWN, S. The genius of Japanese Carpentry. The secrets of a craft. Kodansha International, 1995.

BARSAC, JAQUES. Charlotte Perriand. Un art d habiter: 1903-1959. Norma Editions. 2005.

BASSEGODA, B. La bóveda catalana. Éntasis, CSIC, Zaragoza 1997.

BATTISTI, E. Filippo Brunelleschi. Electa, Milano 1989.

BAYÓN, M. et AL. Arquitecturas Ausentes del siglo XX. Ed. Raúl Rispa – Tanais Ediciones S.L. 2005.

BENET, J. et AL. SCSD: the Project and the Schools. A report from Educational Facilities Laboratories. Educational Facilities Labs., Inc., New York, 1967.

BJARLOV, S.P. Blev de billige boliger bedre? Evaluering af teknik og produktion. DTU, 2011.

BROWN, S. A. The genius of Japanese Carpentry. The secrets of a craft. Tokyō: Kodansha International, 1995.

BUCHANAN, P. Renzo Piano building workshop : complete works. Phaidon. 1993.

BUGGE, G; NORBORG-SCHULZ, C. Stav og Laft i Norge. Norske Arkitekters Landsforbund, 1969.

BURRY, M. La Sagrada Familia. Architecture in detail. Phaidon, London 1993.

CAL-EARTH INSTITUTE. Sandbag Shelter Prototypes. 1992.

CASE STUDY HOUSES. BLUEPRINTS FOR MODERN LIVING. History and Legacy of the Case Study Houses. The Mit Press, Cambridge, Massachussets. London.

CHRISTENSEN, P. Home delivery. Fabricating the modern dwelling. Birkhäuser. MOMA. 2008.

COALDRAKE, W. Architecture and Authority in Japan. New York: The Nissan Institute/Routledge Japanese Studies Series, 2002.

COLLINS, R. Antonio Gaudí, estructura y forma. Ediciones del Serbal, Barcelona 1991.

CONFORTI, C. (Editor) Lo specchio del cielo. La cupola dal Panteón al Novecento. Electa, Milano 1997.

DAL CO, F. Mario Botta: architecture 1960-1985 (pp.183-184). Nueva York: Rizzoli. 1987

DIAMANT, R. M. E. Industrialised building. Vol. 1, 2 and 3. Illife Books. 1968.

DOMIN, Ch., KING, J. Paul Rudolph: the Florida Houses. Nueva York: Princeton Architectural Press.

ENDERS, S; GUTSCHOW,N; NIELS, H. Architectural and Urban Conservation in Japan. Ed. Axel Menges, 1998.

FUJITA, K et AL. *Earthquake Response Analysis of Traditional Japanese Timber Pagoda* 13th World Conference on Earthquake

FUKUYAMA, T; KAWAZOE, N. Nihon no Yashiro. Ise. Tokyo 1962.

FUKUYAMA, T. Jingu no Kenchiku ni kansuru Shiteki Chosa. Ise 1940.

FUTAGAWA Y, BROOKs-PFEIFFER, B. Frank Lloyd Wright, Selected Houses. Vol. 8 (pp. 80-81. Tokyo: ADA Edita. 1990.

GAUDÍ, A. Informes de la Construcción. Vol. 42, n. 408 julio-agosto. IETCC-CSIC. Madrid 1990.

GARCÍA ROIG, J. M. Bruno Taut y el Japón. Cuaderno de Notas no 8. 2000. pp. 97-112.

GIGGS LAWRENCE, R. The Wabi-Sabi House: The Japanese Art of Imperfect Beauty. New York. Crown Publishing Group, 2004.

GONZÁLEZ, J. L. Gaudí i l`SPAL. Diputació de Barcelona, Barcelona 2004.

HENRICHSEN, C. Japan Culture of Wood. Buildings, Objects, Techniques. Ed. Birkhauser, 2004.

HERREROS, J. et AL. Arquitecturas silenciosas. 1 a 5. Catálogo Exposición. Ed. COAM – Ministerio de Fomento. 2001.

IPPOLITO, L. Aspetti costruttivi e strutturali dellecupole toscane dei secoli XV e XVI. En Lo specchio del cielo. Editor C. Conforti. Electa, Milano 1997.

ISSHI, S. Nishina Jinmeigu. Nagano 1959.

LAND, P. The experimental housing project (PREVI), Lima: design and technology in a new neighborhood. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño. 2015.

LAWRENCE, R. G. The Wabi-Sabi House: The Japanese Art of Imperfect Beauty. New York: Crown Publishing Group, 2004.

MARTÍN FLORES, M. et AL. Templo de Debod. Ayuntamiento de Madrid. 1992.

MILETO, C.; VEGAS, L. El espacio, el silencio, y la sugestión del pasado. El Santuario de Ise en Japón. Loggia: Arquitectura y Restauración 2002, 14-41.

MORSE, Edward S. Japanese homes and their surroundings. Boston: Ticknor and Company, 1888.

MOYA BLANCO, L. Bóvedas tabicadas. Ministerio de Fomento. Madrid 2000.

NAKAGAWA, Takeshi. The Japanese House: In Space, Memory, and Language. Tokyo: I-House Press, 2006.

NAKAMURA, N. et al. Ise no Jingu. Kinki Nihon Sosho. Osaka 1961.

NAOKI, K.; FUJIYA, T. Ise Jingu. Tokyo, 1960.

NATTERER, J. y HERZOG, T. Construction en bois : matériau, technologie et dimensionnement. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 2000.

NISHI, K y HOZUMI, K. What is Japanese architecture? A survey of traditional Japanese architecture. Tokyo-New York-London. Kodasha International, 1996.

ONO, Satoshi et al. Nihon Minkaen: Japan Open-Air Folk House Museum. Kawasaki (Japan): Nihon Minkaen, 1993.

ORTEGA ANDRADE, F. La construcción en Grecia III .Revista de Edificación. RE no 14. Junio 1993.

PEVSNER, N. Historia de las tipologías arquitectónicas. Gustavo Gili. 1979.

PROUVÉ, J. Cours du CNAM, 1957-70. Mardaga, Liège 1990.

PUIG BOADA, I. El templo de la Sagrada familia. Ediciones Thor, Barcelona 1986.

Revista AMC, no159. Marzo 2006.

Revista ARCHITECTURAL RECORD, Junio 1966. S.C.S.D. Components to speed construction.

Revista ARQUITECTURA VIVA, 1392011. Casas lejanas.

Revista DETAIL 6. Construcciones ligeras. 2006.

Revista GA Houses, 80. Marzo 2004.

Revista LARCHITECTURE DAUJOURDHUI: Solutions d urgence, num. 3/4 (JuilletAoût), 1945

Revista QUADERNS no224. Flashes. Destellos. 1999.

Revista TECTÓNICA no13. Madera II Estructuras.

RODRIGUEZ, O. Sobre tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Universidad Autónoma de Madrid. CuPAUAM no24. 1997.

SECO, E. y ARAUJO, R. La casa en serie. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. 1991.

SULZER, P. Jean Prouvé. Oeuvre complete / Complete works. Volume 2, 3 and 4. Birkhäuser. 2005.

TAKISHITA, Y. Japanese Country Style: Putting new life into old houses. Tokyo. Kodansha International Ltd, 2002.

TANAKA, T. Jingu no Soki to Hatten. Ise 1960.

THANGAVELU, M. Lunar and Terrestrial Sustainable Building Technology in the New Millennium. Revista BUILDING STANDARDS. Enero-febrero 2000.

VERNILE, B. Los Trulli. Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid. Septiembre 1996.

VIOLLET-LE-DUC, E.; Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle. Ed. B. Bance. Paris. 1856.

WACHSMANN, K. Building of the wooden house: technique and design. Birkhäuser. 1995.

YORKE, F.R.S. The modern house. The architectural press. Londres 1934.

.....

FUENTES WEB

http://homealbax.com/home/toyota_sw

http://icd.unistuttgart.de

www.baukit.es

www.burkhardtleitner.de

www.cuatro50.com

www.kielsteg.at

www.klh.at

www.muji.net/ie

www.sestructure.com

www.toyotahome.co.jp

http://weaponsandwarfare.com/?p=17176

http://whc.unesco.org/es/list/787

http://www.floridareenactorsonline.com/pontoon.htm

http://www.foroxerbar.com/viewtopic.php?t=8456

http://www.thinkdefence.co.uk/2011/12/uk-military-bridging-floating-equipment

.....

TESIS CONSULTADAS

ARAUJO R. *Casas en serie*. Tesis Doctoral. Director: Salvador Pérez Arroyo. Universidad Politécnica de Madrid 1992.

AZPILICUETA E. *La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)*. Tesis Doctoral. Director: Salvador Pérez Arroyo. Universidad Politécnica de Madrid 2004.

BORREGO, I. *Materia informada: deformación, conformación y codificación, los tres procedimientos de almacenamiento de información en la materia.* Director: Federico Soriano Peláez. Universidad Politécnica de Madrid 2012.

DURMISEVIC, E. Transformable building structures. Design for disassembly as a way to introduce sustainable engenieering to building design & construction. Director: Fons Verheijen. TU Delft | University of Technology 2006.

GARCIA SETIEN-TEROL, D. *Trans-arquitectura: imaginación, invención e individuación del objeto técnico arquitectónico: transferencia tecnológica desde la industria del transporte al proyecto arquitectónico (1900-1973)*. Tesis Doctoral. Directora: Almudena Ribot Manzano. Universidad Politécnica de Madrid 2016.

VASILEVA, N. *Sistema de objetos del habitar japonés: acciones y enseres en el espacio doméstico durante el periodo de modernización.* Director: Pedro Feduchi Canosa. Universidad Politécnica de Madrid 2017.

WADEL, G. F. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* Tesis doctoral. Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande. Universitat Politècnica de Catalunya 2009.

PUBLICACIONES Y CONGRESOS

PUBLICACIONES

Participación en el libro: 'Prototipar. Como industrializar casi cualquier arquitectura' con textos introductorios a tres capítulos · Ed. Colab (A. Ribot, D. Garcia-Setién, G. Altuna) · DPA · ETSAM · Universidad Politécnica de Madrid · ISBN:978- 84-09-25986-1 · Marzo 2021.

'Viviendas sociales de baja densidad con bloques de hormigón: tradición y actualidad' · Revista Europea de Investigacion en Arquitectura REIA#17/202 · ISSN: 2340-9851 · con Ramon Araujo Armero · Enero 2021.

'Kage no Maho' · Revista engawa #26 · ISSN: 2013-9667 · Septiembre 2020.

'Hakanai' · Revista engawa #23 · ISSN: 2013-9667 · Septiembre 2018.

'Tracing the cycles of nature. Ise Shikinen Sengu.' · Revista: STUDIO 12.· ISSN: 2240-4767 · Octubre 2018.

'Wood as sustainable material in Japan for dismountable architecture & urban design'. Book of Reports. EM EASED Programe. École Centrale Paris · Julio 2017.

'Recuperación de estrategias para un futuro desmontable. Ise Jingu Shikinen Sengu.' · Revista: AITIM. Madera Recuperada. No.307 · ISSN: 0044-9261 · Mayo-Junio 2017.

'Arquitecturas reversibles de Japón. Las casas de Shirakawa-go' · rita_07 Revista Red fundamentos · ISSN: 2340- 9711 · e-ISSN: 2386-7027 · con Enrique Azpilicueta Astarloa · Abril 2016.

'Reversible Architecture for a Sustainable Future. Finding out Key Design Guidelines in Early Disassembled Systems' · Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. Vol 12, N 3 (2015) · Kaunas University of Technology. Lithuania · ISSN: 2029–9990 · Septiembre 2015.

Publicación en actas de las comunicaciones presentados en los congresos y conferencias que se indican en el siguiente apartado.

CONGRESOS Y CONFERENCIAS

.....

'Reversible Architectures in the Past. The 'talatats' of Tell el-Amarna' · VI Congreso Internacional de Innovacion Tecnológica en Edificación CITE 2021· Escuela Técnica Superior de Edificación · Universidad Politécnica de Madrid · Marzo 2021.

'El Balloon Frame y la conquista de Occidente' · Conferencia en el Máster Universitario MUCTA · ETSAM · Marzo 2020.

'Wood as sustainable material in Japan for dismountable architecture & urban design in Japan' · Jornadas '150 Aniversario de las Relaciones Diplomáticas España-Japón' · Rectorado UPM · Julio 2018.

'_UNDO_Reversible Architecture in Japan' · Conferencia en el Máster Universitario MUCTA · ETSAM · Diciembre 2017.

'Wood as sustainable material for dismountable architecture & urban design' · Closure Conference EM-EASED Programe · Rectorado UPM · 15 junio 20217.

'Prácticas emergentes. 10 emerging architects' · Conferencia · Unidad Herreros · ETSAM · UPM · Noviembre 2016.

'10 emerging architects Madrid > Tokyo' · Conferencia · JIA The Japan Institute of Architects · Octubre 2016.

'Un maestro carpintero en Tokio. Ensamblando la arquitectura del futuro' · Actas del Congreso Critic|all. II International Conference on Architectural Design and Criticism · ETSAM · Universidad Politécnica de Madrid · UPM · ISBN: 978-84-608-9062-1 · Junio 2016.

'Designed in Madrid' · International Conference · Tokyo Institute of Technology · Japan · Octubre 2016 · English/ Japanese.

'Aprendiendo del pasado. El aserradero de Ise en Japón' · Presentación oral + publicación en actas · III Seminario Internacional sobre Patrimonio de la arquitectura y la Industria · Energía-Energy · G+I_PAI – ETSAM · Universidad Politécnica de Madrid · UPM · Febrero 2016.

'La escuela prêt-à-monter. El proyecto S.C.S.D.' · Presentación oral + publicación en actas · II Seminario Internacional sobre Patrimonio de la arquitectura y la Industria · Cadenas de Montaje · G+I_PAI – ETSAM · Universidad Politécnica de Madrid ·UPM · ISBN: 978-84-608-5986-4 · Febrero 2015.

‘Thinking Architecture. Design up to detail'. Guest Lecture at aSAUD – Advanced Sustainable Architecture and Urbanism · Keio University, Tokyo. Faculty of Science and Technology · December 2015 · English/Japanese.

'Reversible Architecture'. Guest Lecture at TAUD – Theory of Architecture and Urban Design · Keio University, Tokyo. Faculty of Science and Technology · December 2015 · English/Japanese.

'Aprendiendo del pasado: las 'stavkirker' o iglesias medievales noruegas de pies derechos' · Presentación oral + publicación en actas · I Congreso Internacional sobre Investigación en Construcción y Tecnología Arquitectónicas · ETSAM · Universidad Politécnica de Madrid · ISBN: 978-84-617-0504-7 · Con Enrique Azpilicueta Astarloa · Junio 2014.

'BoKlok de Ikea, la casa Muji y la casa Toyota. Tres casos actuales de producción industrial de viviendas bajo la protección de las marcas.' · Presentación oral + publicación en actas · I Congreso Internacional sobre Investigación en Construcción y Tecnología Arquitectónicas · ETSAM · Universidad Politécnica de Madrid · ISBN: 978-84-617-0504-7 · Con Enrique Azpilicueta Astarloa · Junio 2014.

CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES

CAPÍTULO 1 · REVERSIBLE Y NATURAL

.....

1.1.
Packard Automotive Plant. Detroit. Michigan.
Fotografía: www.dallasnews.com. 29/07/2013.

Jigokudan (地獄段) Escaleras. Gunkajima. Japón.
Fotografía: www.gakuran.com. 25/08/2024.

Hida No Takumi Bunkakan (飛騨の匠文化館) Furukawa. Japón.
Fotografía de la autora. 13/12/2014.

Mapa de Heian-kyō (平安京). Japón.
Imagen: Geographicus Rare Antique Maps. 1696.

1.2.
The Appearance of Human Skin.
Imagen: Igarashi Takanori, Nishino Ko, Nayar Shree. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*. 3. 2007. p. 95.

Calle en M'Hamid, Valle del Drâa, sur de Marruecos.
Fotografía: *Con los pies en la tierra*. Terrachidia. 2013. p.1.

Bajorrelieve representando un trirreme: el bajorrelieve Lenormant.
Fotografía: www.theacropolismuseum.gr . 20/08/2024.

Base de pilar del *Kairo* (galería perimetral) parcialmente restaurado. Templo de Horyu-ji, Nara. 607 d.C.
Fotografía de la autora.15/12/2014.

Trümmerfrauen en Dresden. 1945.
Fotografía: Erich Höhne y Erich Pohl.

1.3.
Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮)
Fotografías de la autora. 13/10/2015.

Incendio de Kinkakuji, 1950.
Fotografía de Frank A. Polkinghorn.

Mass Support. Maqueta escala 1:1, 1971. Utrecht Exhibition Center.
Imagen: Curatorial Research Collective.

Efecto loto. Barthlott y Ehler. 1977.
Fotografía: William Thielicke 2007.

1.4.
Latas de aluminio prensadas. 2016.
Fotografía: Austin Metal and Iron Company.

Lámparas *Grotte*. Inga Sempé. Exposición *Hydro* 2024.
Fotografía: Einar Aslaksen.

Pabellón Desmontable de Jean Prouvé. Embajada de Francia en Tokio. 2016.
Fotografías: Kaori Nishida & Kikuko Usuyama.

1.5.
Première suite de la description des expériences aérostatiques de Montgolfier. Expérience aërostatique faite à Versailles le 19 septembre 1783.
Autor: Barthélemy Faujas de Saint-Fond.

Traslado de la Englander House. San Francisco. 2021.
Fotografía: www.dailysabah.com

Hexacan. Wölbstrukturen. Frank Mirtsch. 1978.
Fotografía: Dr. Frank Mirtsch GmbH Germany

Panel de forjado *kielsteg*.
Fotografía: www.kielsteg.com

Tecnología Drop Stitch.
Fotografía: www.medium.com.

1.6.
On water. European Investment Bank. 2019.
Fotografía: Yann Arthus-Bertrand.

UltraTouch Denim.
Imagen: Dirk Hebel, Marta Wisniewska, Félix Heisel, Felix. *Constructing Waste - Investigating an alternative resource for future cities.* FCL Magazine. Special Issue. 2015. Fig.04, p.61.

Copenhill. Copenhague. BIG Architects. 2019.
Fotografía: copenhagenarchitecture.dk

Templo de Debod.

Imagen: Alfonso Martín Flores. *Templo de Debod*. Ed. Ayto de Madrid. p.19

Residuos inertes.
Fotografía: www.gadisa.es

CAPÍTULO 2 · DESMONTAJE

.....

2.1.
Shōmei. Parte IV. Pagodas. Heinouchi Yoshimasa. 1608.
Fotografía de la autora.

The propotions of man in the "Oktametermaß" 1943 y *Bauentwurfslehre 1991.*
Imágenes: Ernst Neufert.

Planos de 1908 para la *Patente de casas de hormigón vertido.* Fotografía de la construcción de una de ellas. Thomas Edison.1919.
Imagen: Via Slate.

2.2.
Carpintero japonés manejando una garlopa. Mark Mulligan, Yukkio Lippit. *The Thinking Hand. Tools and Traditions of the Japanese Carpenter.* Harvard University 2014. p. 22.
Fotografía: Takenaka Carpentry Tools Museum

Exposición permanente '*Tools and Handwork*'. Takenaka Carpentry Tools Museum. Kobe. Japón.
Fotografías de la autora.

Yariganna y kanna del carpintero de Seirin-ji. Tokio.
Fotografía de la autora.

Silla nº14. Silla Thonet. Michael Thonet.1859.
Fotografía: www.valoffice.com

Junta de emplame en cuello de cisne.
Fotografías: Azby S. Brown. *The genius of Japanese Carpentry. The secrets of a craft.*. Tokyō: Kodansha International, 1995. p. 87-91.

Primeros templos dóricos.
Imagen: Francisco Ortega Andrade. *La Construcción en Grecia III*. Revista de Edificación. RE. nº 14. Junio 1993. p.69.

Bloques de piedra de Tel el-Amarna.
Fotografías: Henry Frankfort. *The city of Akhenaton. Part I.* Pendlebury J.D.S.1933. 60a-60b.

Templo de Apolo en Bassai (c.400 a.C.).
Imagen: J.J. Coulton. Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 148.

Hieron de Samotracia (360 a.C.).
Imagen: J.J. Coulton. Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 147.

Fustes romanos inacabados.
Imagen: Oliva Rodríguez Gutierrez. *Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos.* CuPAUAM 24, 1997, p. 218.

2.3.
Ensambles de encuentro, ensambles de ángulo, empalmes horizontales, cepos, acopladuras y refuerzos en madera.
Imágenes: Antonio Rovira. *La madera y su estereotomía.* 1ª parte. Lámª 6, 7, 8, 12, 13, 14. Librería de Álvaro Verdaguer. Barcelona, 1900.

Huellas de enlaces de piedras con piezas de madera en forma de cola de milano. 1904.
Imagen: F. Auguste Choisy.

Detalle constructivo de los Propíleos de Atenas. s. V a.C.
Imagen: J.J. Coulton. Ancient *Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design*. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 114.

Templo de Zeus Olímpico en Akagras. s. V a.C.
Imágenes: Robert Mark. *Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica*. Ediciones Akal. 2002. p.156.

Apuntes sobre Tecnología de la madera. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zamora.1990. 268 pp.
Imagen: Luis Montero.

Fabricación de las piezas del *Research Pavilion 2011*.
Imagen: ICD/ITKE University of Stuttgart

Evolución de la junta.
Fotomontaje de la autora.

2.4.
Fustes del teatro romano de Itálica.
Imágenes: Oliva Rodríguez Gutierrez. Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos. CuPAUAM 24, 1997, pp. 222, 239.

Marcas de herramientas en piezas de madera y sierra japonesa.
Imagen: William H. Coaldrake. *The Way of the Carpenter. Tools and Japanese Architecture.* New York: Wetatherhill Inc, 1990. pp. 108-109.

Material *Tamahagane*
Fotografía: www.dictum.com

Encofrado de arena para el Pabellón Philips.1958. Frank Huijben. *Vacuumatic formwork: a novel granular manufacturing technique for producing topology-optimised structures in concrete.* Granular Matter 2016. p.18.
Fotografía: autor desconocido.

Desmontaje de un Volkswagen Golf. Dirk Hebel, Patrick Chladek, Amelie Fibicher, Felix Heisel, Philippe Jorisch, Hans-Christian Rufer, Marta H. Wisniewska, B*uilding for disassembly* - Design Studio Spring 2016 - Professorship Dirk E. Hebel - ETH Zürich.
Fotografía: autor desconocido.

2.5.
Basa del orden inferior de la *scaenae frons* del teatro romano de Itálica.
Imagen: Oliva Rodríguez Gutierrez. Sobre Tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos. CuPAUAM 24, 1997, p. 232.

Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Octubre 2015.
Fotografía de la autora.

Citroen Ami.
Fotografía: www.citroen.es

Citroen Ami.
Fotografía: www.citroen.es

Cadena de montaje. Henry Ford. 1913.
Fotografía: www.corporate.ford.com

Los fabricantes de clavos. Le Cloutier Grossier. Aprox. 1763.
Autor: Jean-Michel Moreau 'le jeune' (1741-1814).

Detalles de uniones con neopreno en automóviles (Rice 1995). Uniones con neopreno en edificios (Prouvé 1956).
Imágenes: Peter Rice y Jean Prouvé.

Telar Automático Toyoda Modelo G. Saichi Toyoda.
Fotografía: Christoph Roser at AllAboutLean.com

2.6.
Le Antichità Romane. Tomo 3, Tabla 53. Publicado en 1756.
Autor: G. Battista Piranesi.

Piezas desmontadas de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Octubre 2015.
Fotografía de la autora.

Piezas desmontadas de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Octubre 2015.
Fotografía de la autora.

La gran parada. Visita a los hangares de mantenimiento de aeronaves en Iberia. 03/09/2013.
Fotografía de la autora.

CAPÍTULO 3 · EVOLUCIÓN Y FUTURO

.....

3.1.
Cámara del Rey. Pirámide de Keops. c. 2600 a.C.
Imagen: Frank Monier.

Templo de Debod. Ed. Ayto de Madrid. pp.9-22.
Fotografías: Alfonso Martín Flores

Pórticos y fustes egipcios. *El arte de construir en Egipto*. CEHOPU Juan de Herrera. Madrid, 2006. Ed. Original 1904.
Imágenes: F. Auguste Choisy.

Primeros templos dóricos.
Imagen: Francisco Ortega Andrade. *La Construcción en Grecia III*. Revista de Edificación. RE. nº 14. Junio 1993. p.65.

Partenón de Atenas c. 447-432 a.C.. Ictinos y Calícatres. Imagen tras el bombardeo de 1687.
Autor desconocido.

Heraion de Argos y Partenón de atenas. s. V a.C.
Imágenes: J.J. Coulton. Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design. Cornell University Press. Ithaca, New York. 1977. p. 93, p.114.

3.2.
Opus romanos y ladrillo romanos estandarizados. Jean-Pierre Adam*. La construcción romana, materiales y técnicas.* Editorial de los Oficios. 1996.
Imagen: Jean-Pierre Adam.

Antigua Basílica de San Pedro. 326-356 d.C. *Libro de l'Architettura di San Pietro nel Vaticano.*
Imagen: Martino Ferrabosco.

Monasterio de Santa Catalina en el Monte Sinaí (548- 565 d.C.).
Autor desconocido.

Puente pontoon en Petesburg. Virginia. 1865. Civil war photographs, 1861-1865
Fotografía: Library of Congress.

Carruajes pontones y montaje pontoon. Grabado Ilustración Antigua. Bauhaus1000. 1851.
Autor desconocido.

Gridshells. lL 10. Krämer. Stuttgart, 1974. p 21.
Fotografía: Frei Otto.

3.3.
Catedral de Reims. Vidriera. 1211-1275. Jean D'Orbais. Catedral de Amiens. Vidriera. 1220-1269. Robert de Luzarches. Evolución de las Catedrales.
Imágenes: Eugène Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. 1856.

Westminter Hall. Hugh Herland. 1393.
Imagen: Eugène Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. 1856.

Ladrillos romanos reutilizados en un muro de la Catedral de St. Albans. 2019.
Fotografía: A J Paxton.

Bóvedas encamonadas. *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits frais*. Livre I. Chapitre VII. BNF. 1561.
Imagen: Philibert De l'Orme

Nau Gaudí. Antonio Gaudí. 1883. Mercado de Santa Caterina. Enric Miralles y Benedetta Tagliabue. 2003.
Fotografía: Fermina Garrido.

3.4.
Iglesia de Gol. Iglesia de Borgund. Stavkirke. S.XII.
Autor desconocido.

Proceso de montaje de una iglesia de pies derechos. Detalles. Investigación y Ciencia nº85, oct 1983. p.7
Imágenes: Peter Aune, Ronald L. Sack, Arne Selberg.

Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮). Fernando Vegas, Camila Mileto. *El espacio, el silencio, y la sugestión del pasado. El Santuario de Ise en Japón.* Loggia: Arquitectura y Restauración 2002, p.14, p.18.
Imágenes: Fernando Vegas, Camila Mileto.

Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮). Fernando Vegas, Camila Mileto. *El espacio, el silencio, y la sugestión del pasado. El Santuario de Ise en Japón.* Loggia: Arquitectura y Restauración 2002, p.23.
Imágenes: Fernando Vegas, Camila Mileto.

Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Otoño 2015.
Fotografía de la autora.

Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. Otoño 2015.
Fotografía de la autora.

Montaje de la réplica del Picture Hall de Yakushi-ji. Nara, Japón.1985. *The genius of Japanese Carpentry. The secrets of a craft.* Kodansha International, 1995.
Imágenes: S. Azby Brown.

Montaje de la *minka* Ota.
Satoshi Ono et al. *Nihon Minkaen: Japan Open-Air Folk House Museum.* Kawasaki (Japan): Nihon Minkaen, 1993. p. 20-21
Autor desconocido.

Axonometría de la Casa Nakano Yoshimori en Gassho-zukuri Minka-en Museum en Shirakawa-go. Prefectura de Gifu. Diciembre 2014.
Fotografía de la autora.

Aldea de Shirakawa-go. Prefectura de Gifu. Japón. Diciembre 2014.
Fotografía de la autora.

Aldea de Shirakawa-go. Prefectura de Gifu. Japón. Diciembre 2014.
Fotografía de la autora.

3.5.
10 hombres construyendo una vivienda con el sistema balloon frame, Omaha Reservation, Nebraska, 1877.
Fotografía: The Digital Research Library of Illinois History Journal.

Sistema *Balloon Frame*. Augustine Taylor 1833.
Autor desconocido.

Joseph Paxton. *Palacio de Cristal (Crystal Palace).* Londres. 1851.
Imágenes: Robert Mallet y Christian Schittich.

Kocher & Frey. *Aluminaire House*. 1931 en F. R. S. Yorke, *The modern house*. The architectural press. Londres 1934.
Imágenes: Modern Mechanix.

Kocher & Frey. *Aluminaire House*. 1931 en F. R. S. Yorke, *The modern house*. The architectural press. Londres 1934.
Imágenes: F.R.S. Yorke. Aluminaire.org.

Konrad Wachsman y Walter Gropius. *Packaged House.* 1941.
Imágenes: Architectural Forum, February, 1947

Lustron House. C.G. Strandlung + Lustron Corp. 1948.
Imagen: P. Christensen. *Fabricating the modern dwelling*. Birkhäuser. MOMA. 2008.

Lustron House. C.G. Strandlung + Lustron Corp. 1948.
Imagen: P. Christensen. *Fabricating the modern dwelling*. Birkhäuser. MOMA. 2008.

Little Green school in Croxley Green, David Medd 1970 en M.P. K. Keath. *The Development of School Construction Systems in Hertfordshire 1946-1964*. 1983.
Fotografía: Martin Charles

Cheshunt prototype.
Imágenes: Architects Journal, 15 May 1955, p.648-651.

Proyecto S.C.S.D. *Architectural systems: a needs, resources and design approach.* Mac Graw-Hill, 1989.
Imágenes: Ezra Ehrenkrantz.

Richard Horden. *Yatch House*. 1983.
Imágenes: Barry Bergdoll, Peter Christensen (Ed). Home Delivery Fabricating The Modern Dwelling. Museum of Modern Art. Ed Birkhäuser. Nueva York. 2008.

3.6.
Kazuhiko Namba. Muji House. 2004.
Imágenes: www.muji.net/ie, www.se-structure.com

Kazuhiko Namba. Muji House. 2004.
Imágenes: www.muji.net/ie, www.se-structure.com

Toyota House. 1978-2024.
Imágenes: www.toyotahome.co.jp, http://home-albax.com/home/toyota_sw

Boklok Ikea + Skanska. 1996-2024.
S. P. Bjarløv. *Blev de billige boliger bedre? Evaluering af teknik og produktion*. DTU, 2011.
Fotografía: Kömmerling

ICD ITKE_Research Pavilion 2011 y Research Pavilion 2013.
Fotografías: https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions

ICD ITKE_Research Pavilion HygroShell. 2023.
Fotografías: https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions

ANEXOS

●

ANEXO 1. ATLAS DEL DESMONTAJE

ANEXO 2. COLECCIONES DE CASOS

ANEXO 1. ATLAS DEL DESMONTAJE

El Atlas que se presenta a continuación se ha construido a partir de las imágenes referidas a cada uno de los casos presentados en la tesis. Cada una de las imágenes tiene por objeto ser ilustrativa de datos específicos importantes en relación a la investigación. El recorrido visual que desarrolla, revela las posibilidades del desmontaje del objeto construido desde distintos ángulos. Se trata de una recopilación realizada a través de una labor de montaje, que permite descubrir las conexiones y relaciones de los distintos casos entre sí dentro de los dieciocho apartados propuestos en la estructura específica de la tesis (oportunidad, mutabilidad, durabilidad, materialidad, levedad, ciclabilidad; proporción, conformación, unión, precisión, construcción, división; apoyo simple, empuje y tracción, junta elática, poste y dintel, esqueleto y pared, fabricación digital).

El Atlas está formado por veinticinco láminas que están vinculadas con los distintos conceptos desarrollados en la investigación, y que aparecen ordenadas del siguiente modo:

.....
LÁMINA I · **OPORTUNIDAD**
LÁMINA II · **MUTABILIDAD**
LÁMINA III · **DURABILIDAD**
LÁMINA IV · **MATERIALIDAD**
LÁMINA V · **LEVEDAD**
LÁMINA VI · **CICLABILIDAD**
.....
LÁMINA VII · **PROPORCIÓN**
LÁMINA VIII · **CONFORMACIÓN I**
LÁMINA IX · **CONFORMACIÓN II**
LÁMINA X · **UNIÓN**
LÁMINA XI · **PRECISIÓN**
LÁMINA XII · **CONSTRUCCIÓN**
LÁMINA XIII · **DIVISIÓN**

.....
LÁMINA XIV · **APOYO SIMPLE I**
LÁMINA XV · **APOYO SIMPLE II**
LÁMINA XVI · **EMPUJE Y TRACCIÓN**
LÁMINA XVII · **JUNTA ELÁSTICA**
LÁMINA XVIII · **POSTE Y DINTEL I**
LÁMINA XIX · **POSTE Y DINTEL II**
LÁMINA XX · **ESQUELETO Y PARED I**
LÁMINA XXI · **ESQUELETO Y PARED II**
LÁMINA XXII · **ESQUELETO Y PARED III**
LÁMINA XXIII · **ESQUELETO Y PARED IV**
LÁMINA XXIV · **FABRICACIÓN DIGITAL I**
LÁMINA XXV · **FABRICACIÓN DIGITAL II**
.....

La presentación a través de láminas similares a 'planchas de contactos' ha pretendido dar la mayor igualdad posible a todas las imágenes. La diferencia de tamaños existente en algunas láminas responde únicamente al intento de facilitar la visualización de los detalles de ciertas imágenes.

El formato propuesto ofrece una síntesis de la investigación facilitando su comprensión y permitiendo su ampliación futura con nuevos casos.

El Atlas presentado pretende ser el inicio de la construcción del imaginario del desmontaje.



LÁMINA I
OPORTUNIDAD

.

Packard Automotive Plant. Detroit. Michigan · Jigokudan (地獄段) Gunkajima. Japón · Hida No Takumi Bunkakan (飛騨の匠文化館) Furukawa. Japón · Mapa de Heian-kyō (平安京). Japón.

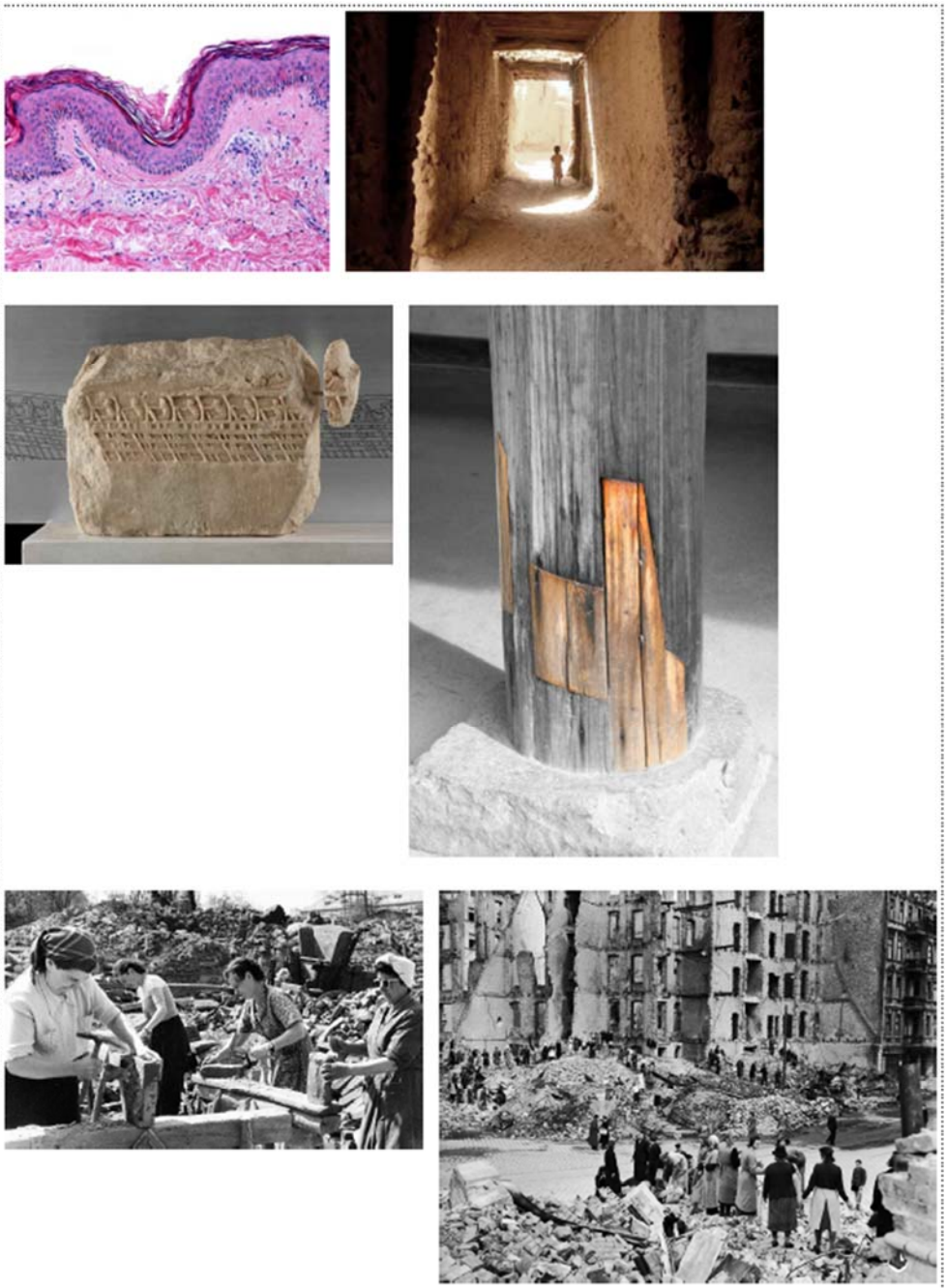


LÁMINA II
MUTABILIDAD

·

The Appearance of Human Skin · Calle en M'Hamid, Valle del Drâa, sur de Marruecos · Bajorrelieve representando un trirreme: el bajorrelieve Lenormant · Base de pilar del *Kairo* (galería perimetral) parcialmente restaurado. Templo de Horyu-ji, Nara. 607 d.C. · Trümmerfrauen en Dresden. 1945.

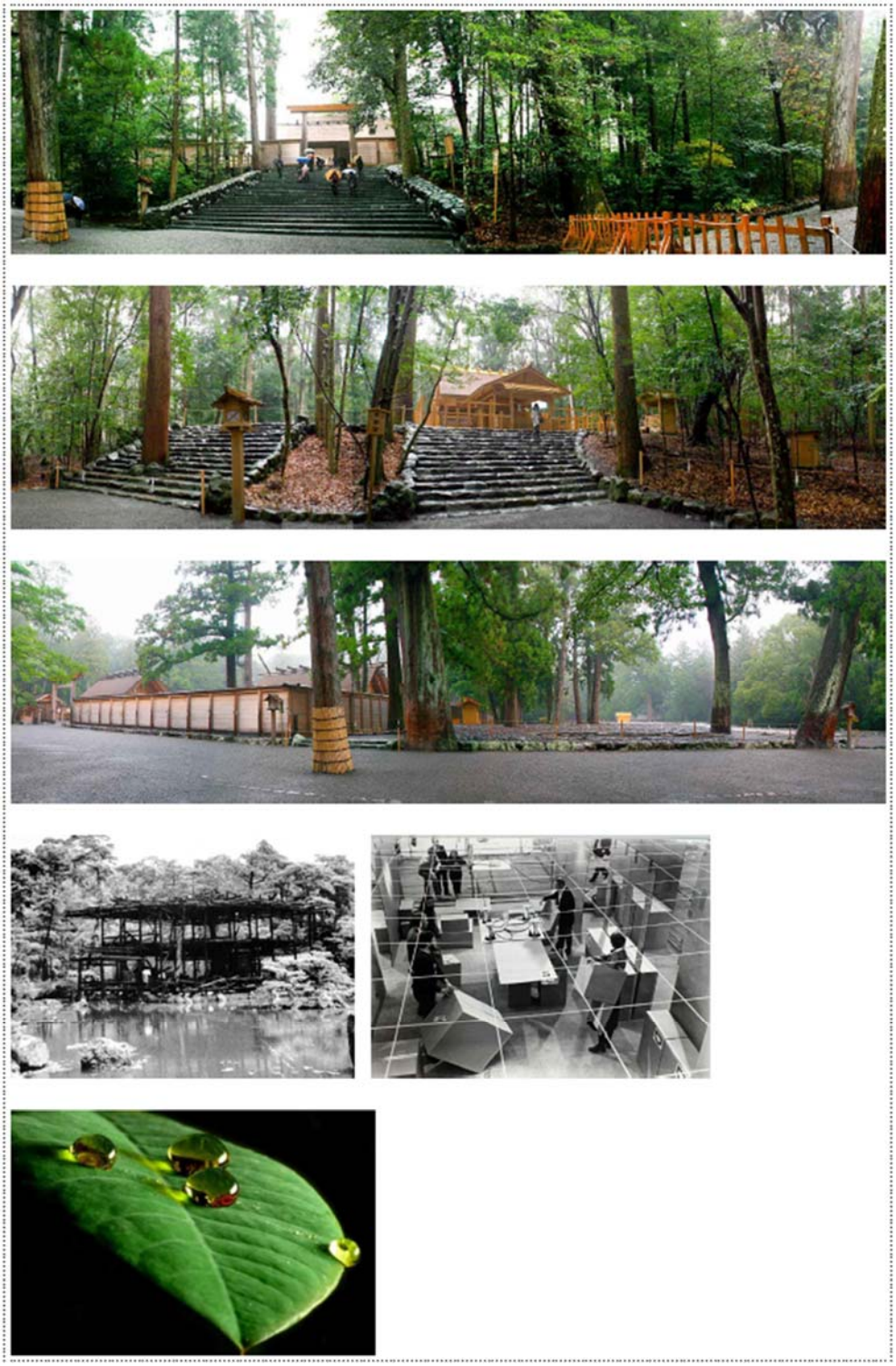


LÁMINA III
DURABILIDAD

.

Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮) · Restos del incendio de Kinkakuji, 1950 · Mass Support. Maqueta escala 1:1, 1971. Utrecht Exhibition Center · Efecto loto.

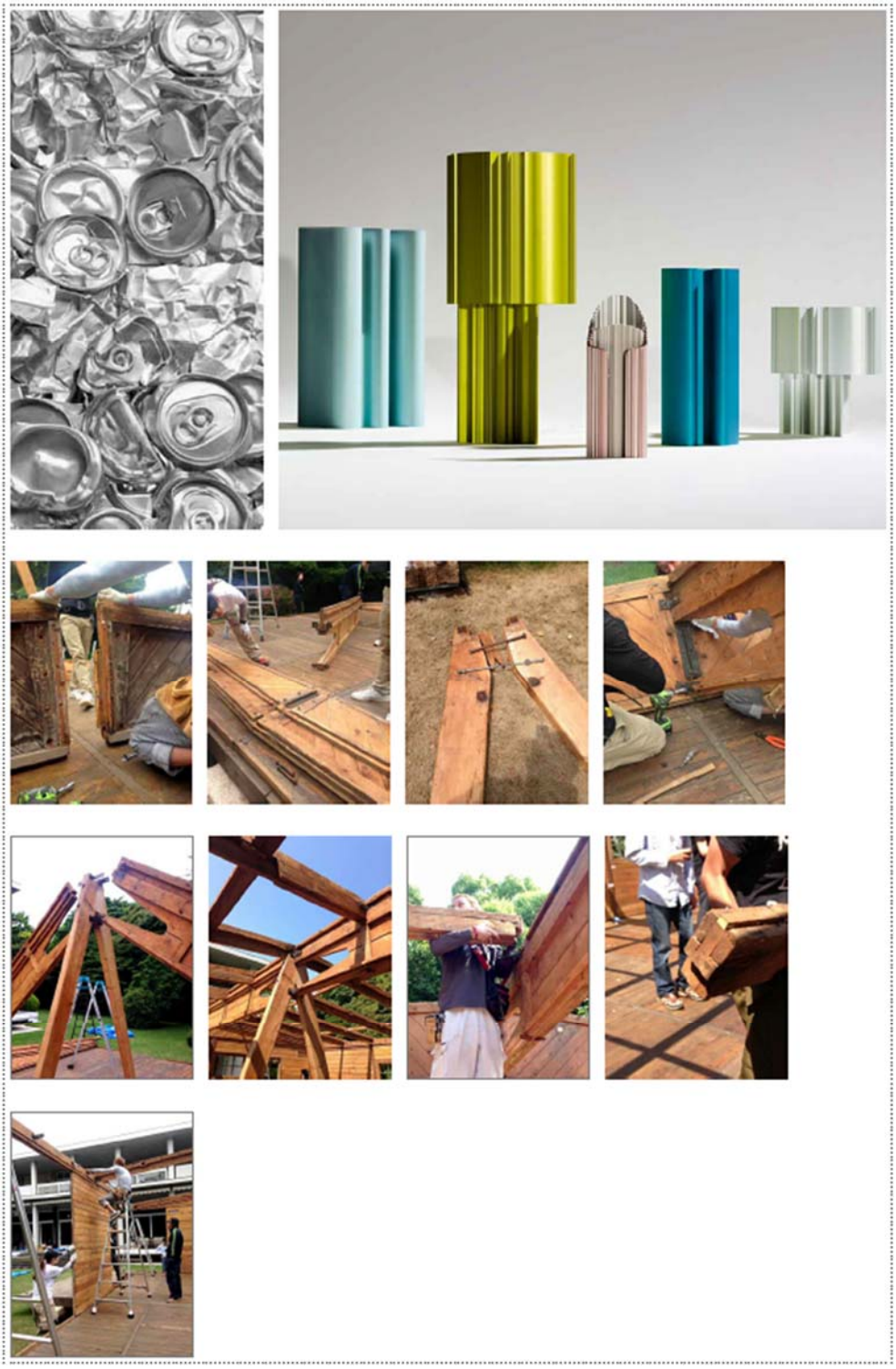


LÁMINA IV
MATERIALIDAD

·

Latas de aluminio prensadas. 2016 · Lámparas *Grotte*. Inga Sempé. Exposición *Hydro* 2024 ·
Proceso de montaje del Pabellón Desmontable de Jean Prouvé. Embajada de Francia en Tokio. 2016.

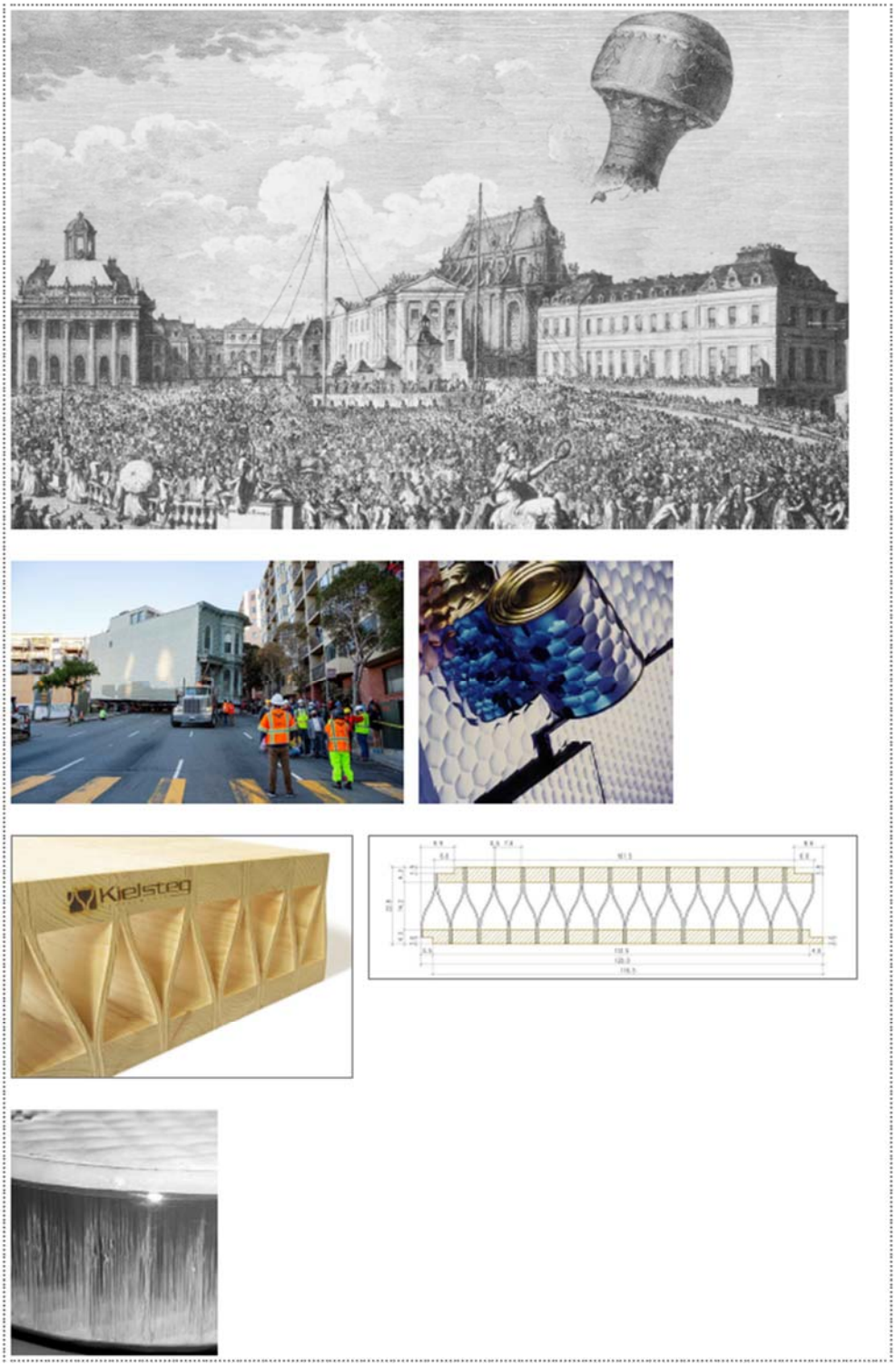


LÁMINA V
LEVEDAD
.

Expérience aërostatique faite à Versailles le 19 septembre 1783 · Traslado de la Englander House. San Francisco. 2021 · Hexacan. Wölbstrukturen. Frank Mirtsch. 1978 · Panel de forjado kielsteg · Tecnología Drop Stitch.

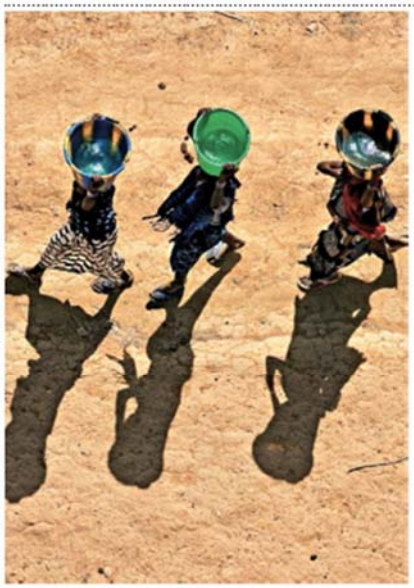






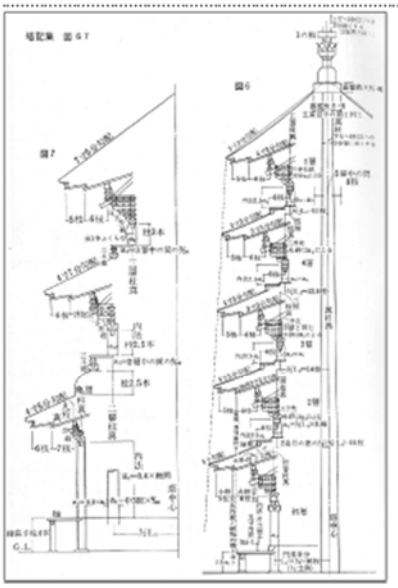




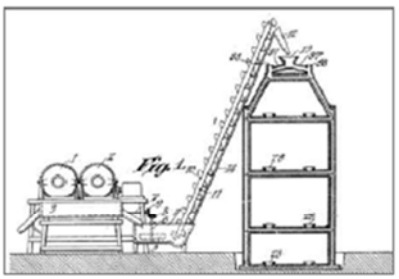
LÁMINA VI
CICLABILIDAD

.

On water. European Investment Bank. 2019 · UltraTouch Denim · Copenhill. Copenhague. BIG Architects. 2019 · Templo de Debod · Residuos inertes.







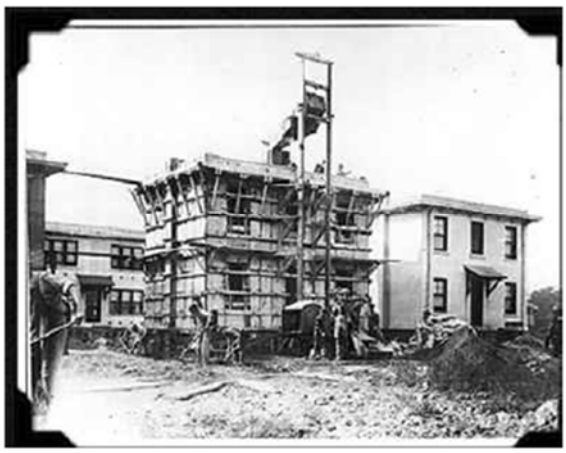


LÁMINA VII
PROPORCIÓN

.

Shōmei. Parte IV. Pagodas. Heinouchi Yoshimasa. 1608 · *The propotions of man in the "Oktametermaß"* 1943 y *Bauentwurfslehre 1991.* Ernst Neufert · Planos de 1908 para la *Patente de casas de hormigón vertido.* Thomas Edison.

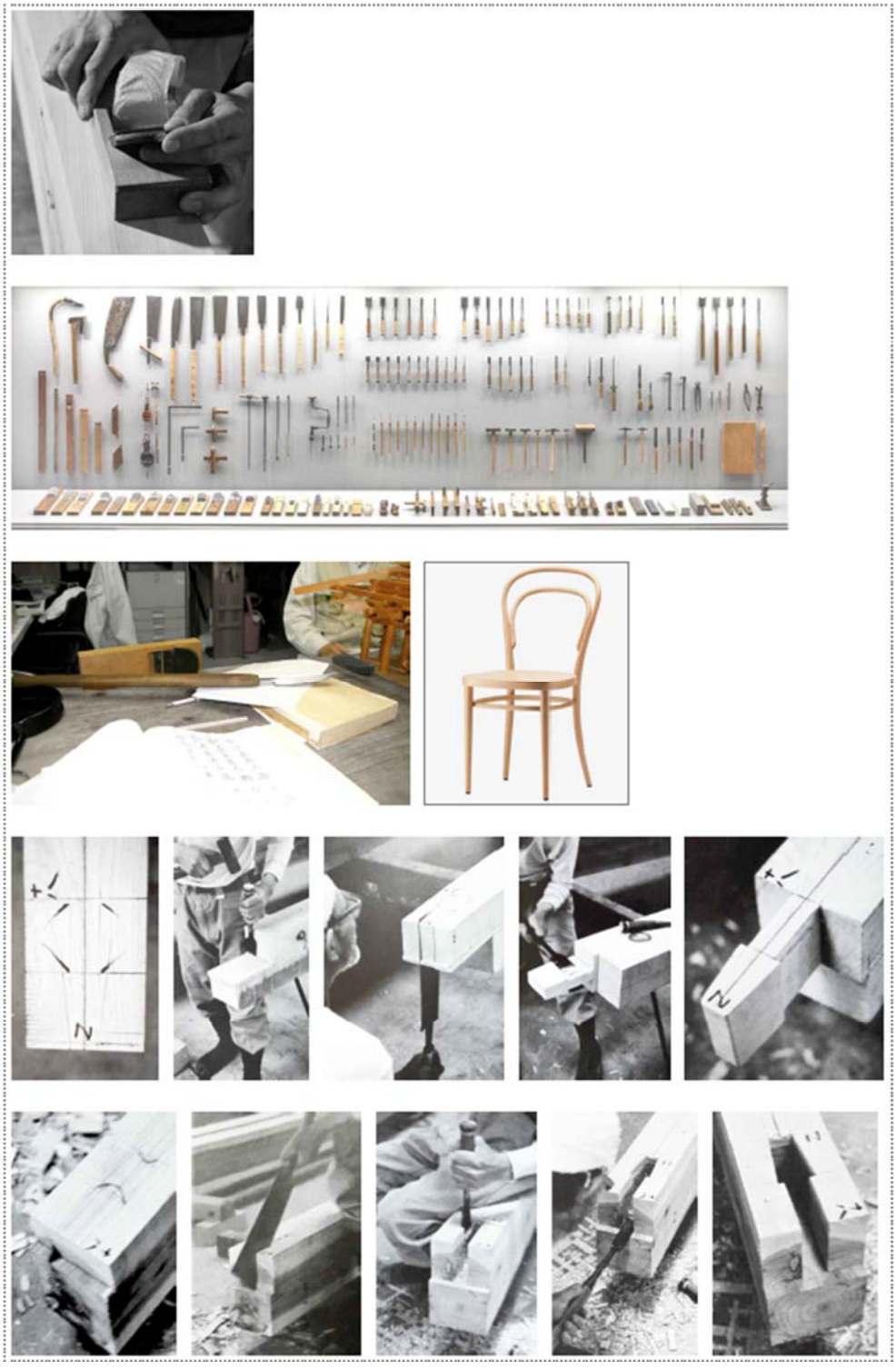


LÁMINA VIII
CONFORMACIÓN I
.

Carpintero japonés manejando una garlopa · '*Tools and Handwork*'. Takenaka Carpentry Tools Museum. Kobe. Japón · Yariganna y kanna del carpintero de Seirin-ji. Tokio · *Silla Thonet*. 1859 · Conformación de junta de emplame en cuello de cisne.

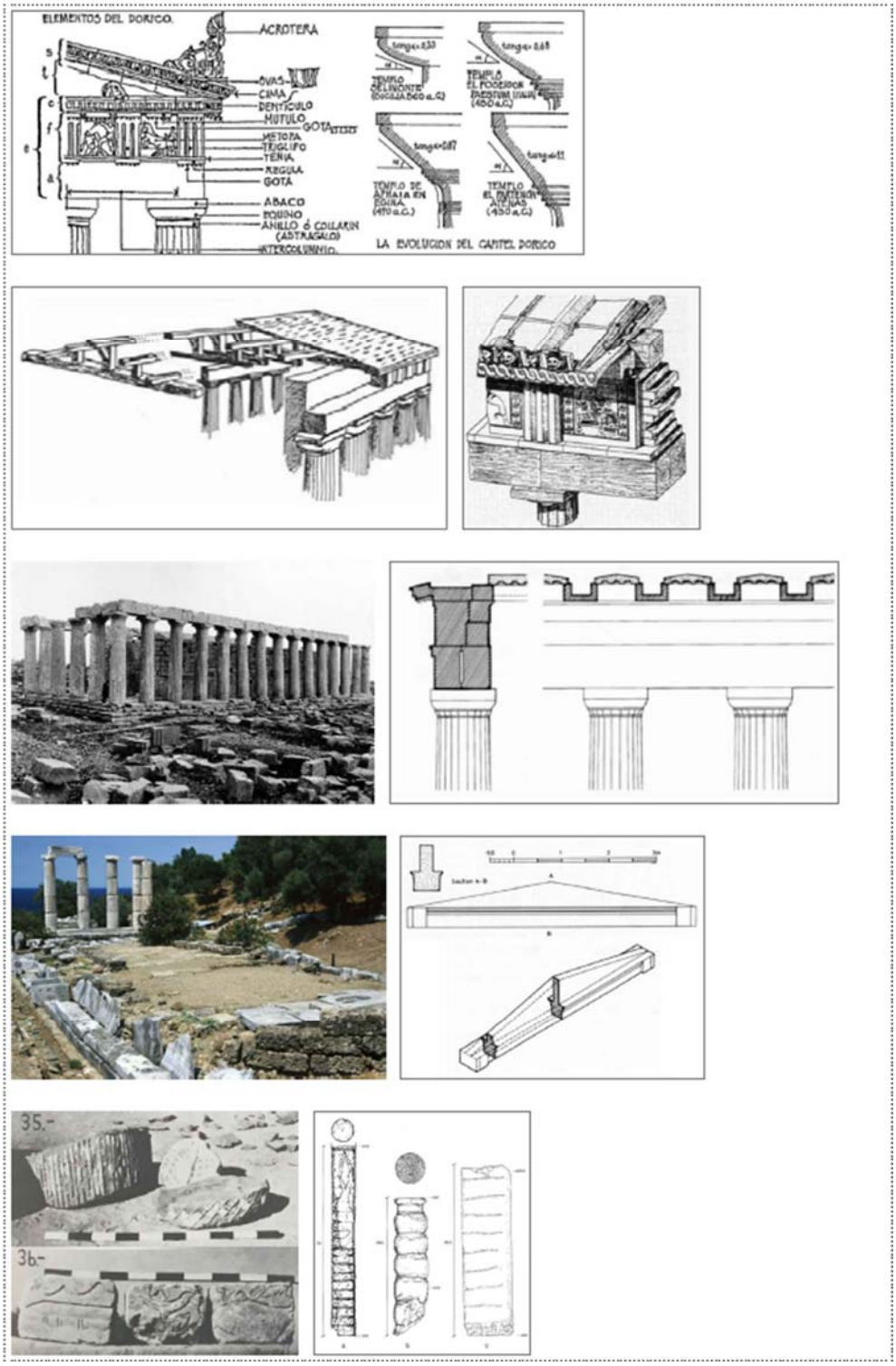


LÁMINA IX
CONFORMACIÓN II

.

Primeros templos dóricos. Detalles · Templo de Apolo en Bassai c.400 a.C. · Hieron de Samotracia 360 a.C. · Bloques de piedra de Tel el-Amarna · Fustes romanos inacabados.

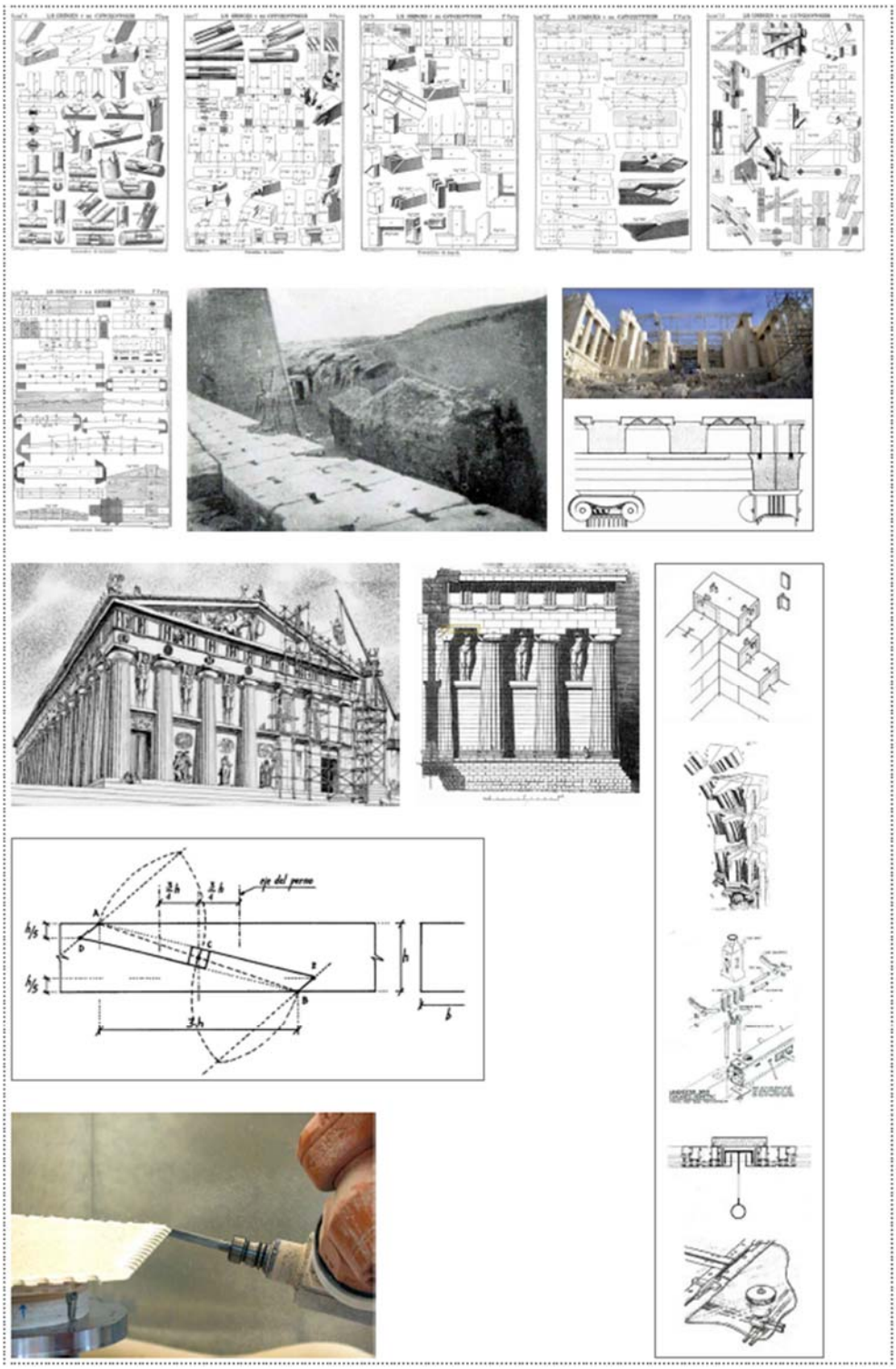


LÁMINA X
UNIÓN

Ensambles en madera. 1900 · Enlaces de piedras con piezas en cola de milano. 1904 · Propíleos de Atenas. s. V a.C. · Templo de Zeus Olímpico en Akagras. s. V a.C. · Geometría de la junta en Rayo de Jupiter · Fabricación de las piezas del *Research Pavilion 2011* · Evolución de la junta.

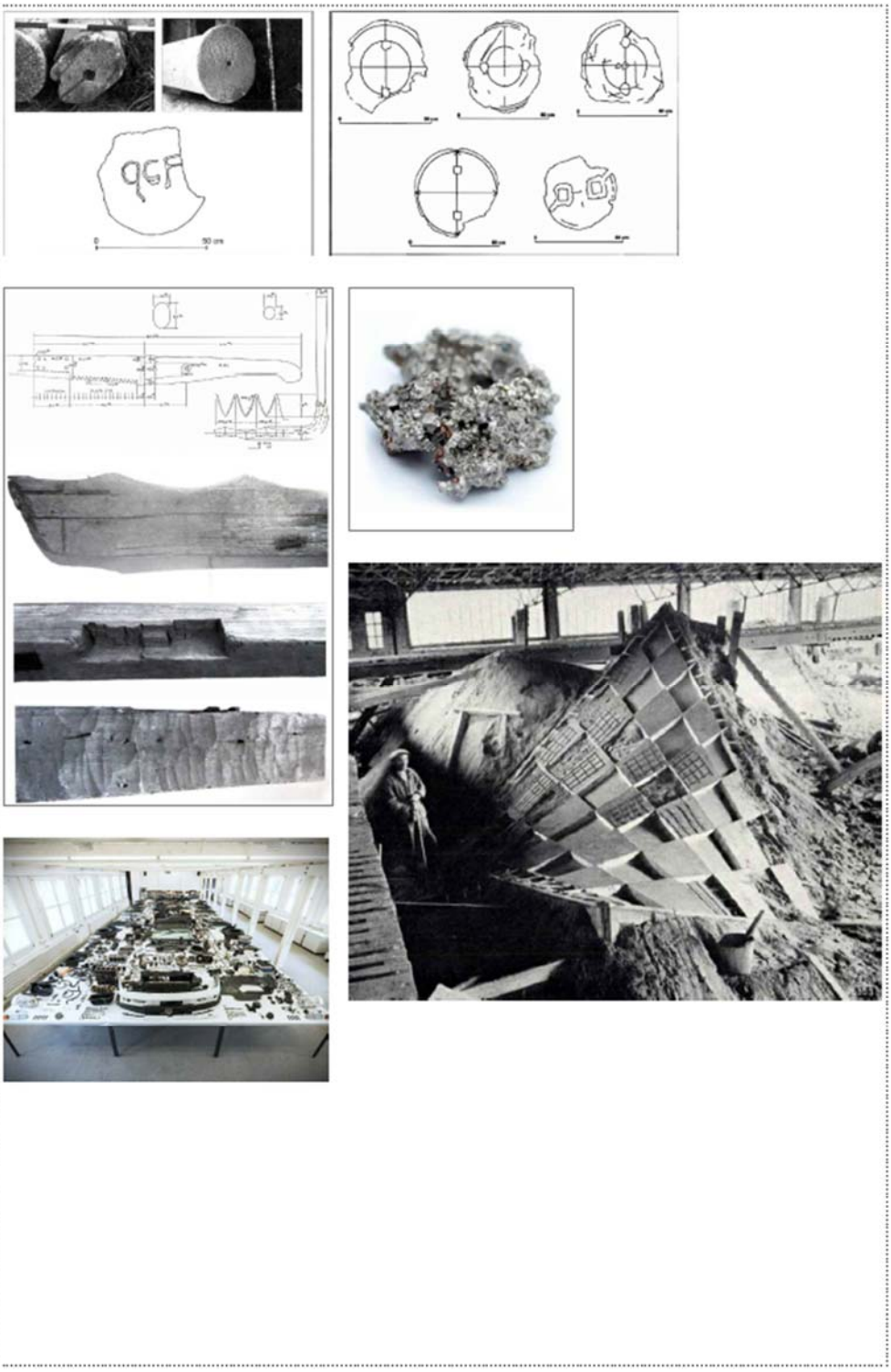


LÁMINA XI
PRECISIÓN
.

Marcas en los fustes del teatro romano de Itálica · Sierra japonesa y marcas en la madera · *Tamahagane* · Encofrado de arena para el Pabellón Philips.1958 · Desmontaje de un Volkswagen Golf.

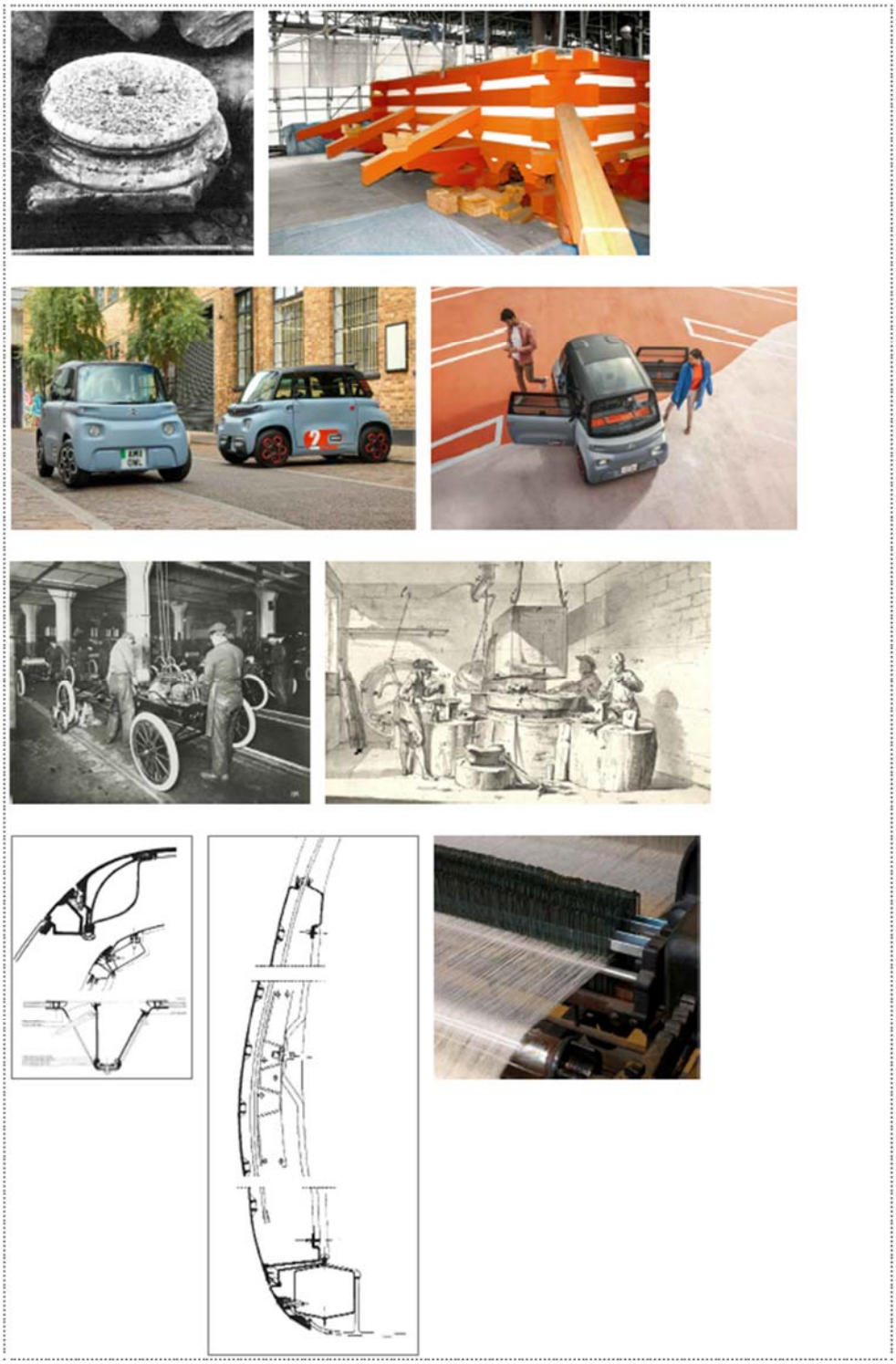


LÁMINA XII
CONSTRUCCIÓN

.

Basa del teatro romano de Itálica · Reconstrucción de la pagoda de Seirin-ji. Tokio · Citroen Ami · Cadena de montaje. 1913 · Los fabricantes de clavos. 1763 · Uniones con neopreno (automóviles_Rice 1995 – edificios_Prouvé 1956) · Telar Automático Toyoda Modelo G.









LÁMINA XIII
DIVISIÓN

.

Le Antichità Romane. Piranesi. 1756 · Piezas desmontadas de la pagoda de Seirin-ji. Tokio. 2015 · La gran parada. Visita a los hangares de mantenimiento de aeronaves en Iberia. 2013.

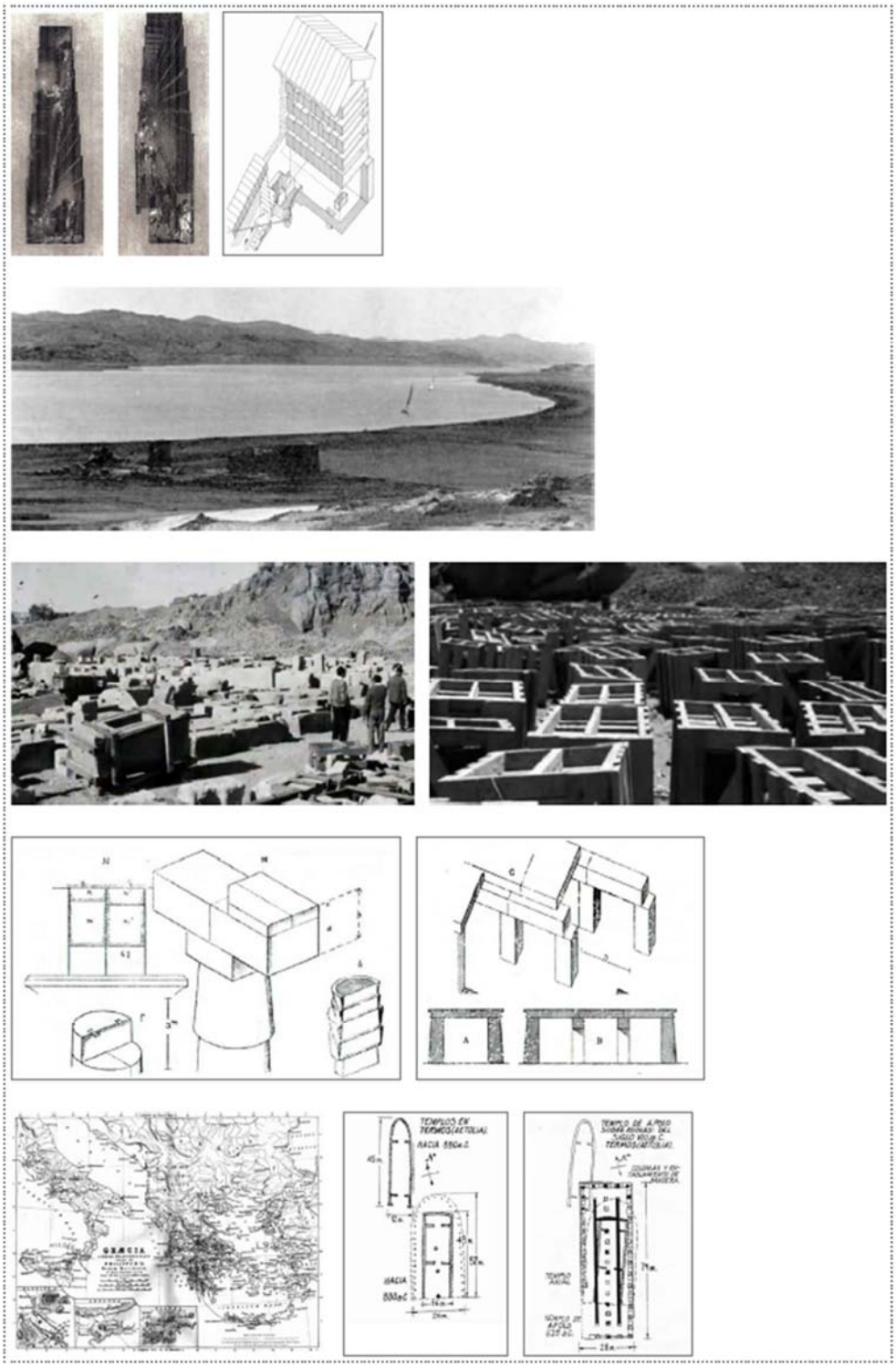
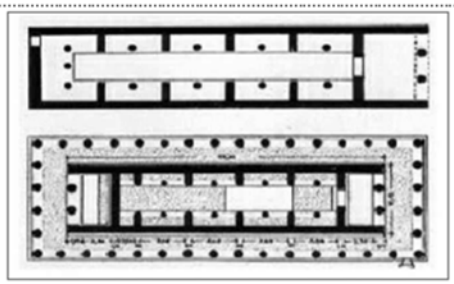


LÁMINA XIV
APOYO SIMPLE I

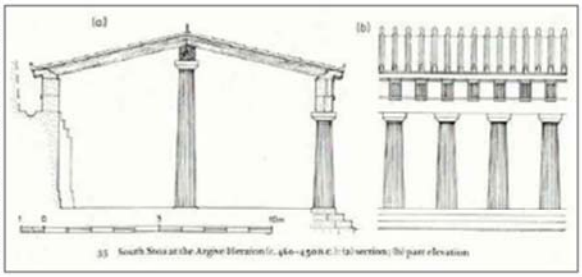
.

Cámara del Rey. Pirámide de Keops. c. 2600 a.C. · Templo de Debod · Pórticos y fustes egipcios. Choisy 1904 · Primeros templos dóricos.









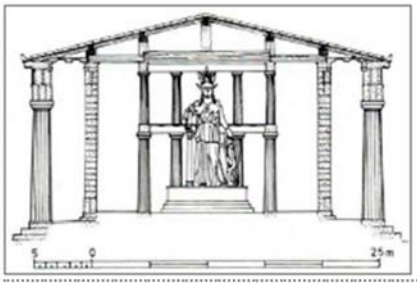


LÁMINA XV
APOYO SIMPLE II

.

Primeros templos dóricos · Partenón de Atenas c. 447-432 a.C. Imagen tras el bombardeo de 1687 · Heraion de Argos y Partenón de atenas. s. V a.C.

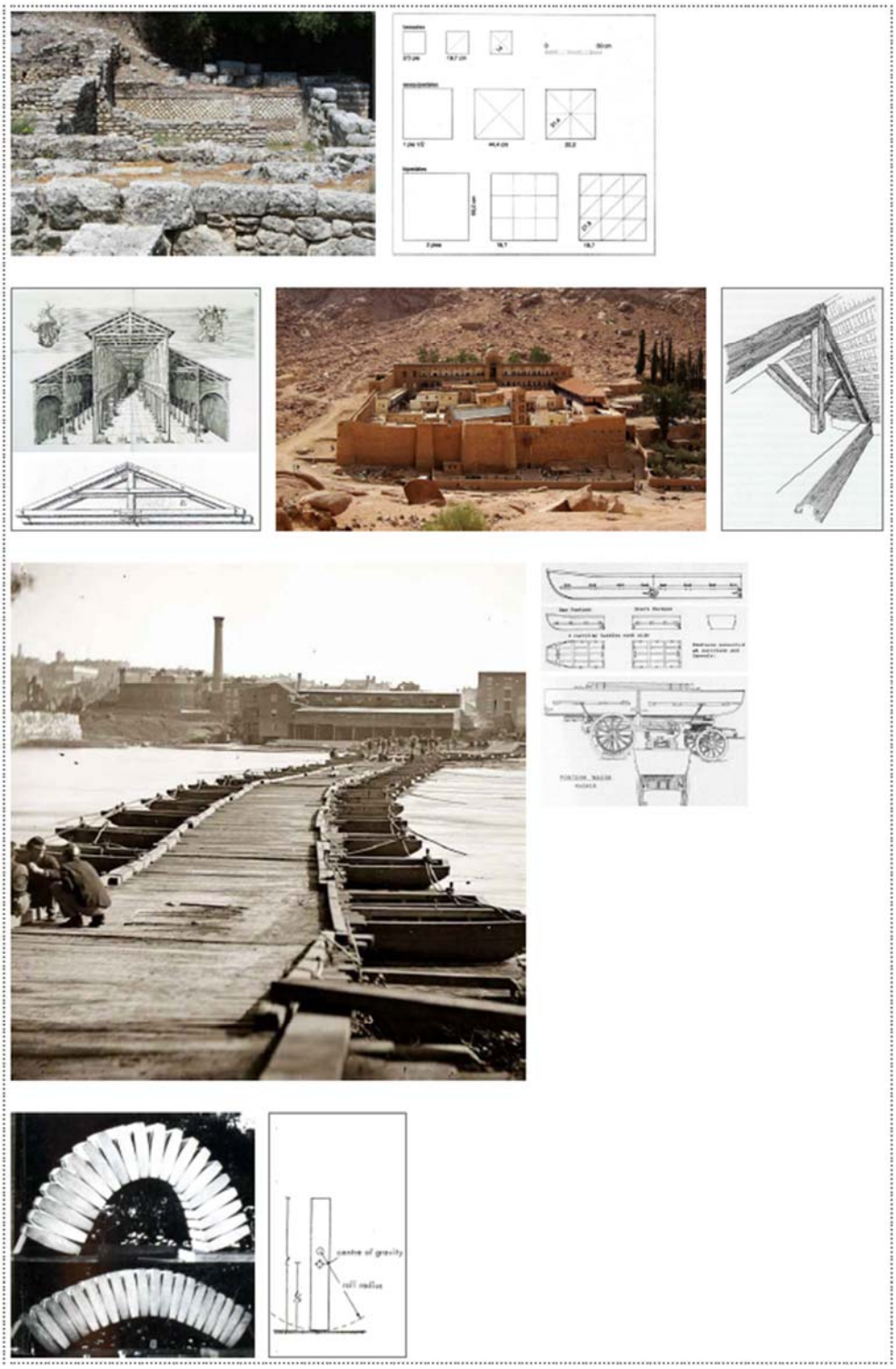


LÁMINA XVI
EMPUJE Y TRACCIÓN

Opus romanos y ladrillo romanos estandarizados · Antigua Basílica de San Pedro. 326-356 d.C. · Monasterio de Santa Catalina en el Monte Sinaí. 548- 565 d.C. · Puente pontoon en Petesburg. Virginia. 1865 · Carruajes pontones y montaje pontoon. 1851 · Línea de empuje en un arco. Frei Otto. 1974.

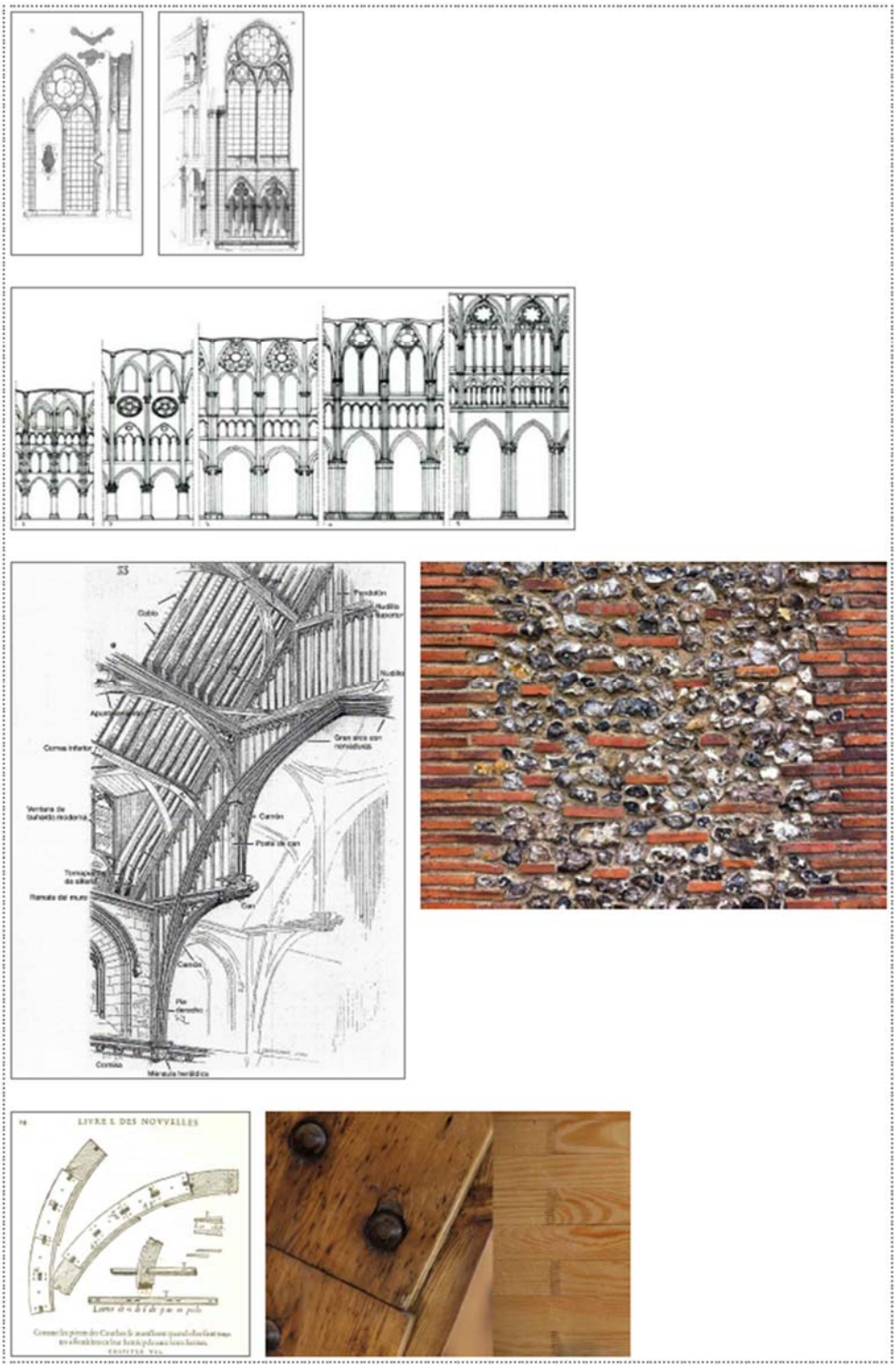


LÁMINA XVII
JUNTA ELÁSTICA

.

Catedral de Reims. 1211-1275. Catedral de Amiens. 1220-1269 · Westminter Hall. 1393 · Ladrillos romanos reutilizados en un muro de la Catedral de St. Albans · Bóvedas encamonadas. 1561 · Nau Gaudí. 1883. Mercado de Santa Caterina. 2003.

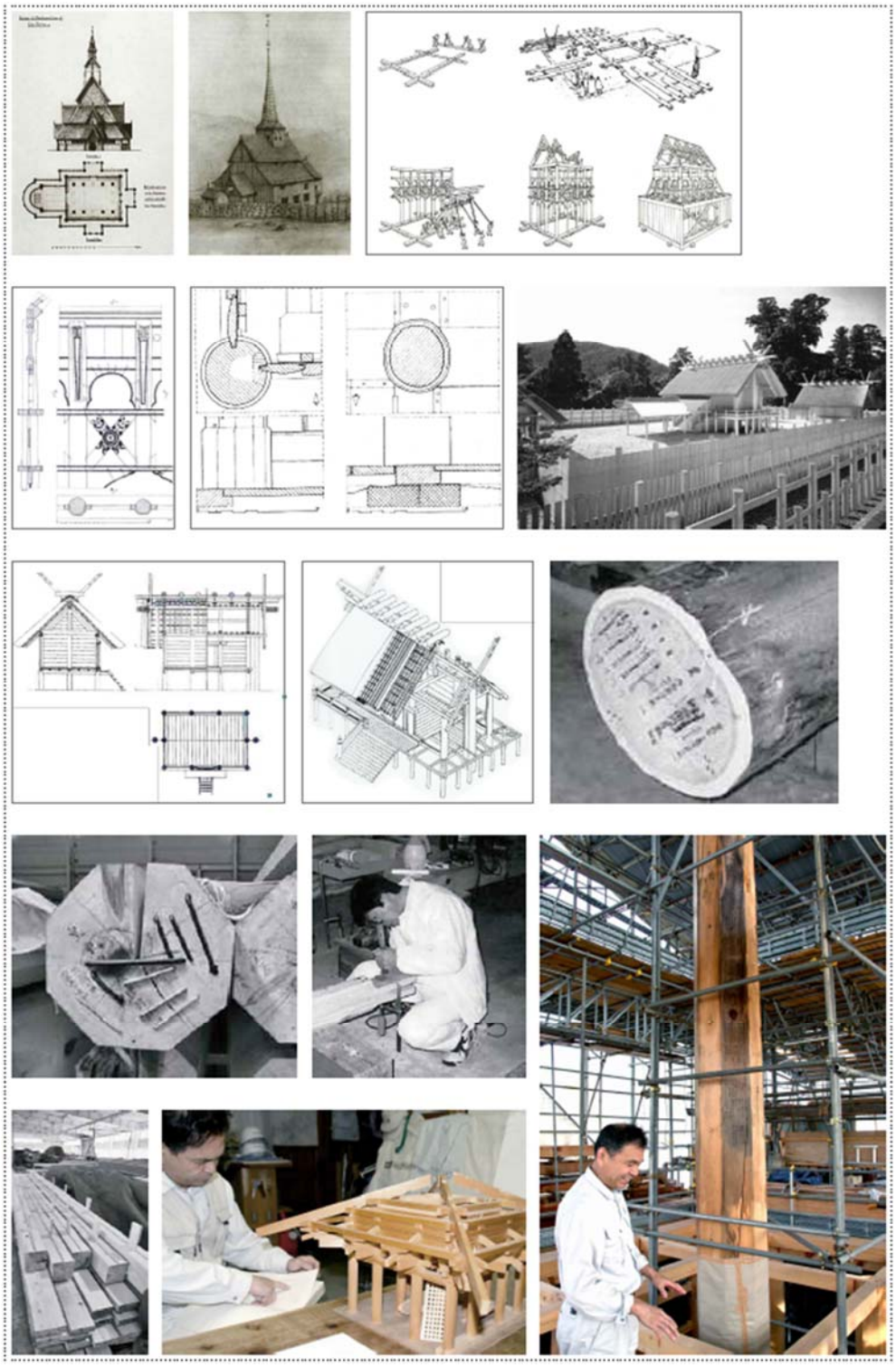


LÁMINA XVIII
POSTE Y DINTEL I

.

Iglesia de Gol. Iglesia de Borgund. Stavkirke. S.XII · Proceso de montaje de una iglesia de pies derechos · Santuario de Ise. Japón. (伊勢大神宮) · Reconstrucción de la pagoda del templo de Seirin-ji en Tokio. 2015.

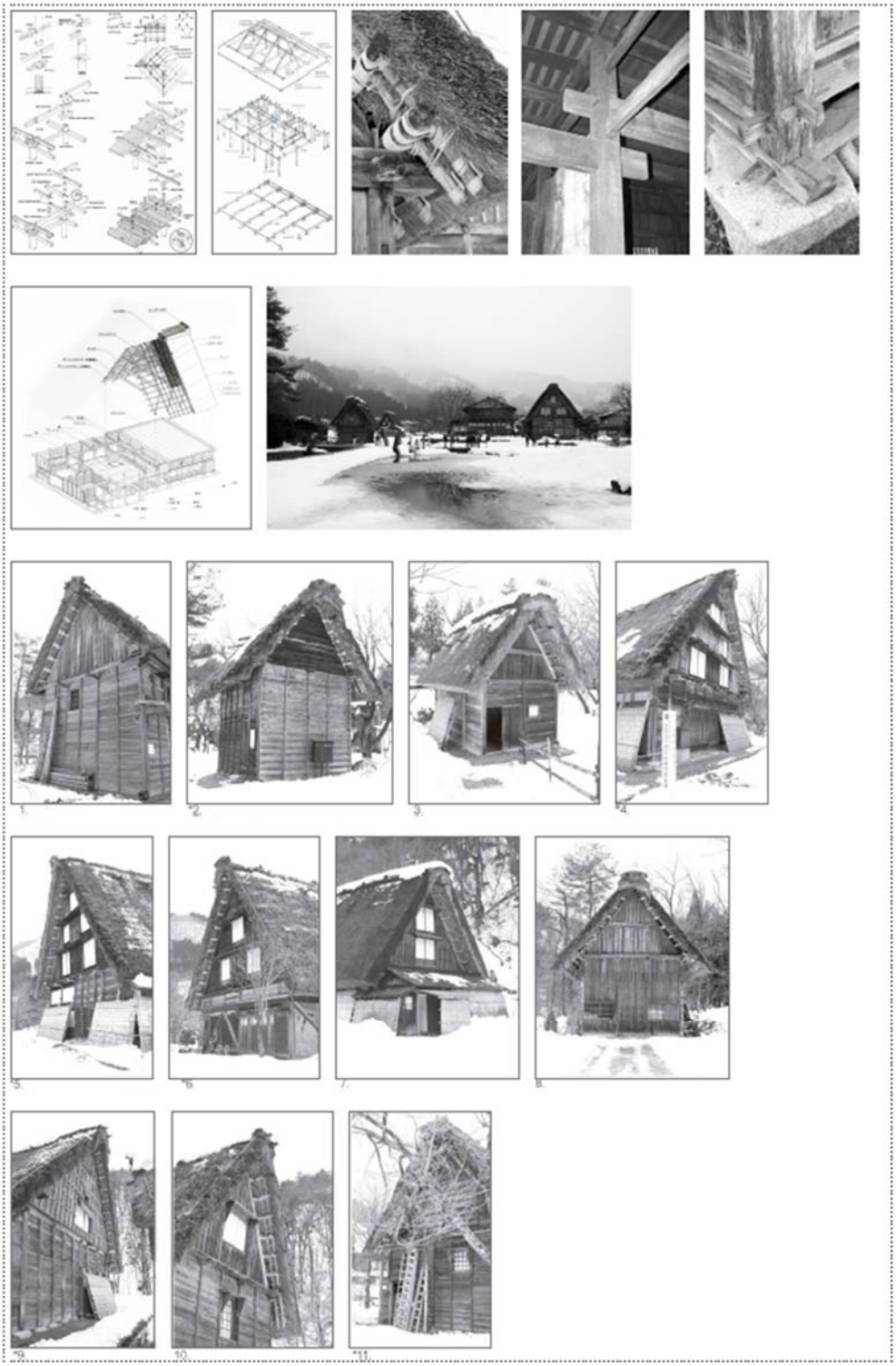


LÁMINA XIX
POSTE Y DINTEL II

.

Montaje de la réplica del Picture Hall de Yakushi-ji. Nara 1985 · Montaje de la *minka* Ota. Kawasaki · Axonometría de la Casa Nakano, Gifu · Aldea de Shirakawa-go. Gifu. 2014 · 11 *minka* en la aldea de Shirakawa-go.

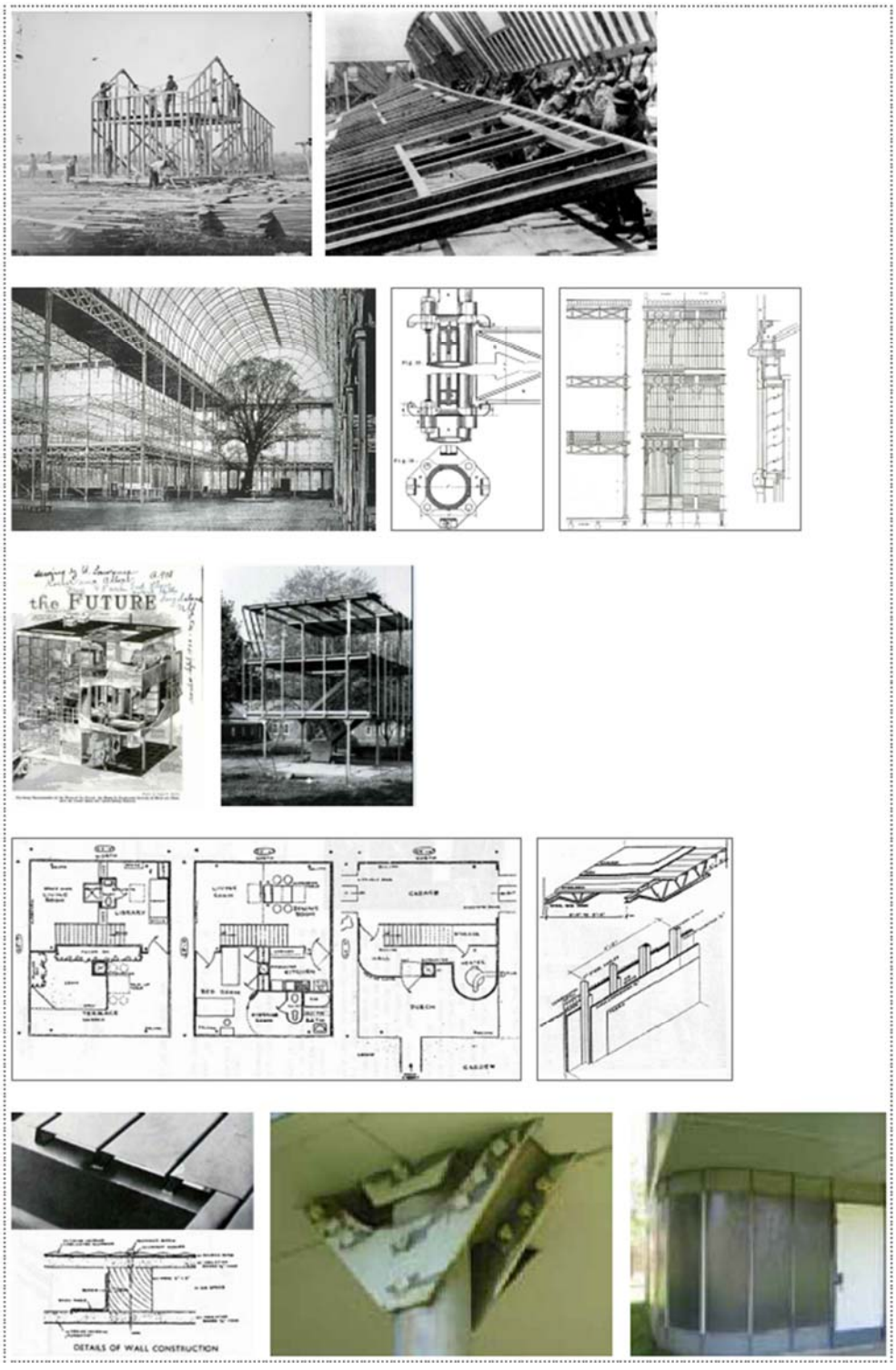


LÁMINA XX
ESQUELETO Y PARED I

.

10 hombres construyendo un sistema balloon frame. 1877 · Sistema Balloon Frame. 1833 · Crystal Palace. Londres. 1851 · Aluminaire House. Vistas generales, plantas y detalles. 1931.

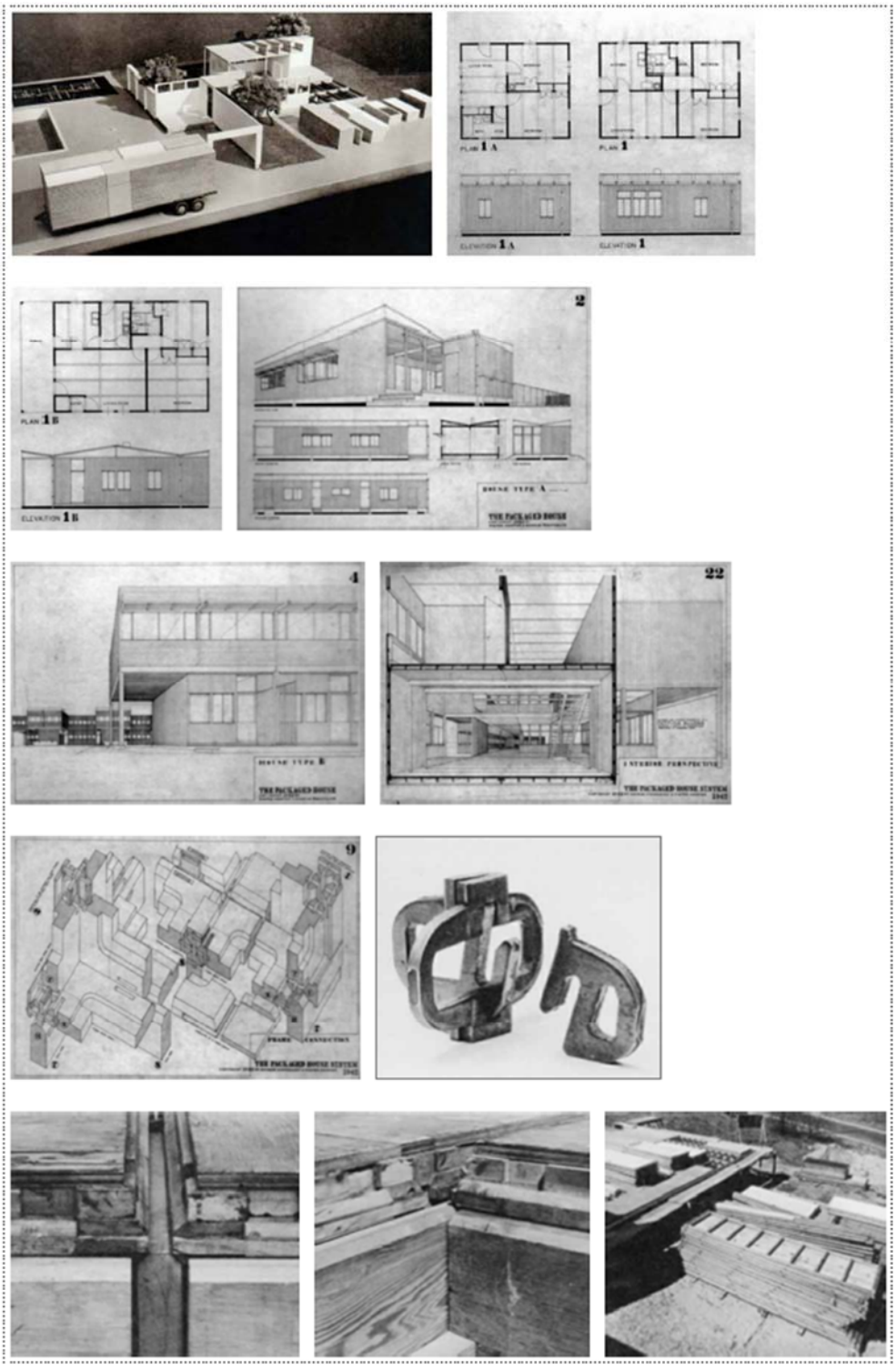


LÁMINA XXI
ESQUELETO Y PARED II
.
Packaged House. 1941. Maqueta, planos, detalle. Conector X. Proceso de montaje.

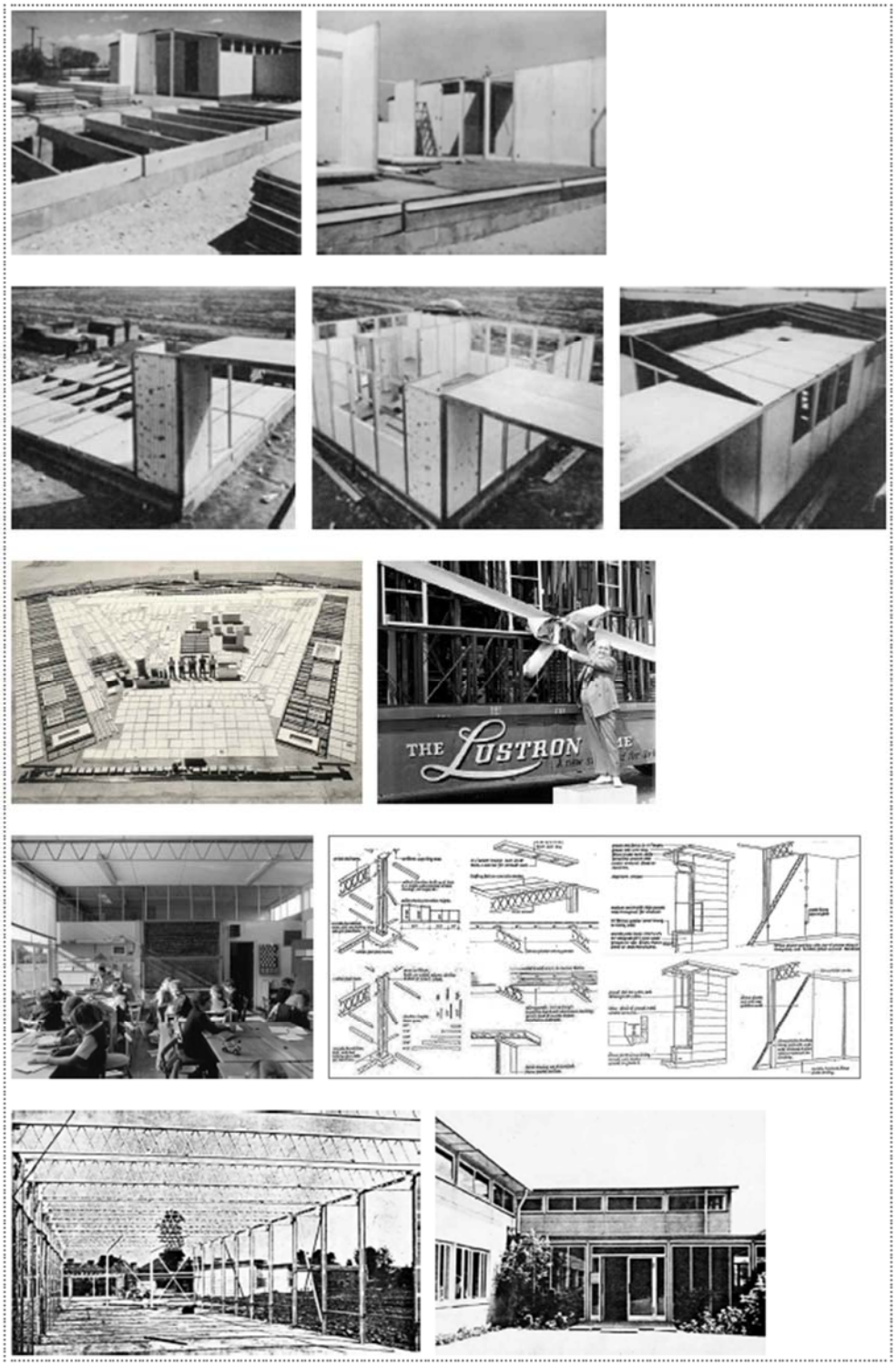


LÁMINA XXII
ESQUELETO Y PARED III

.

Packaged House. Proceso de montaje. 1941 · Lustron House. 1948 · Little Green school in Croxley Green, Hertofrdshire. 1949 · Cheshunt prototype. 1955. Planos y fotografías.

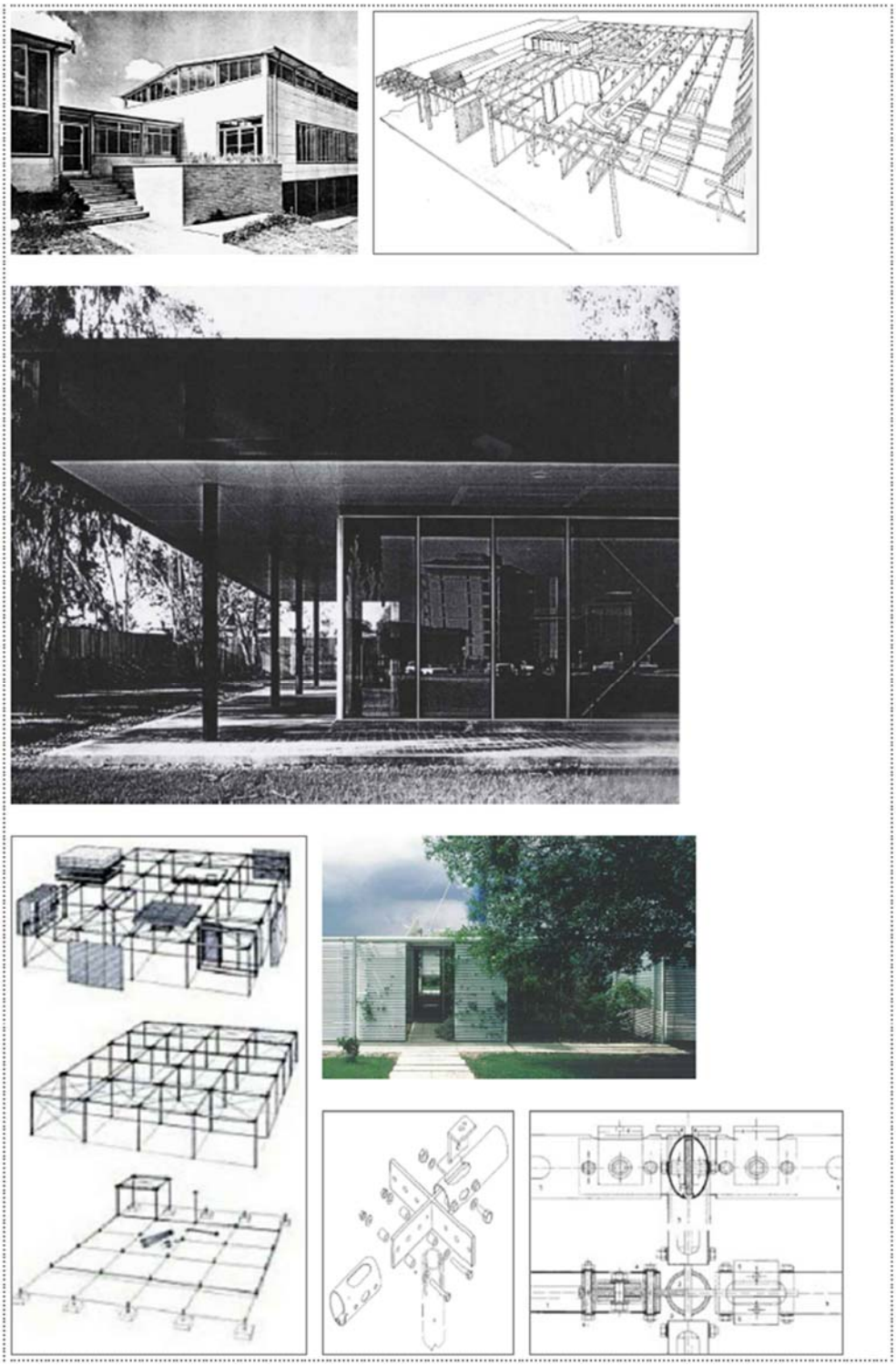


LÁMINA XXIII
ESQUELETO Y PARED IV

.

Cheshunt prototype. 1955 · Proyecto S.C.S.D. 1961· Yatch House. 1983.

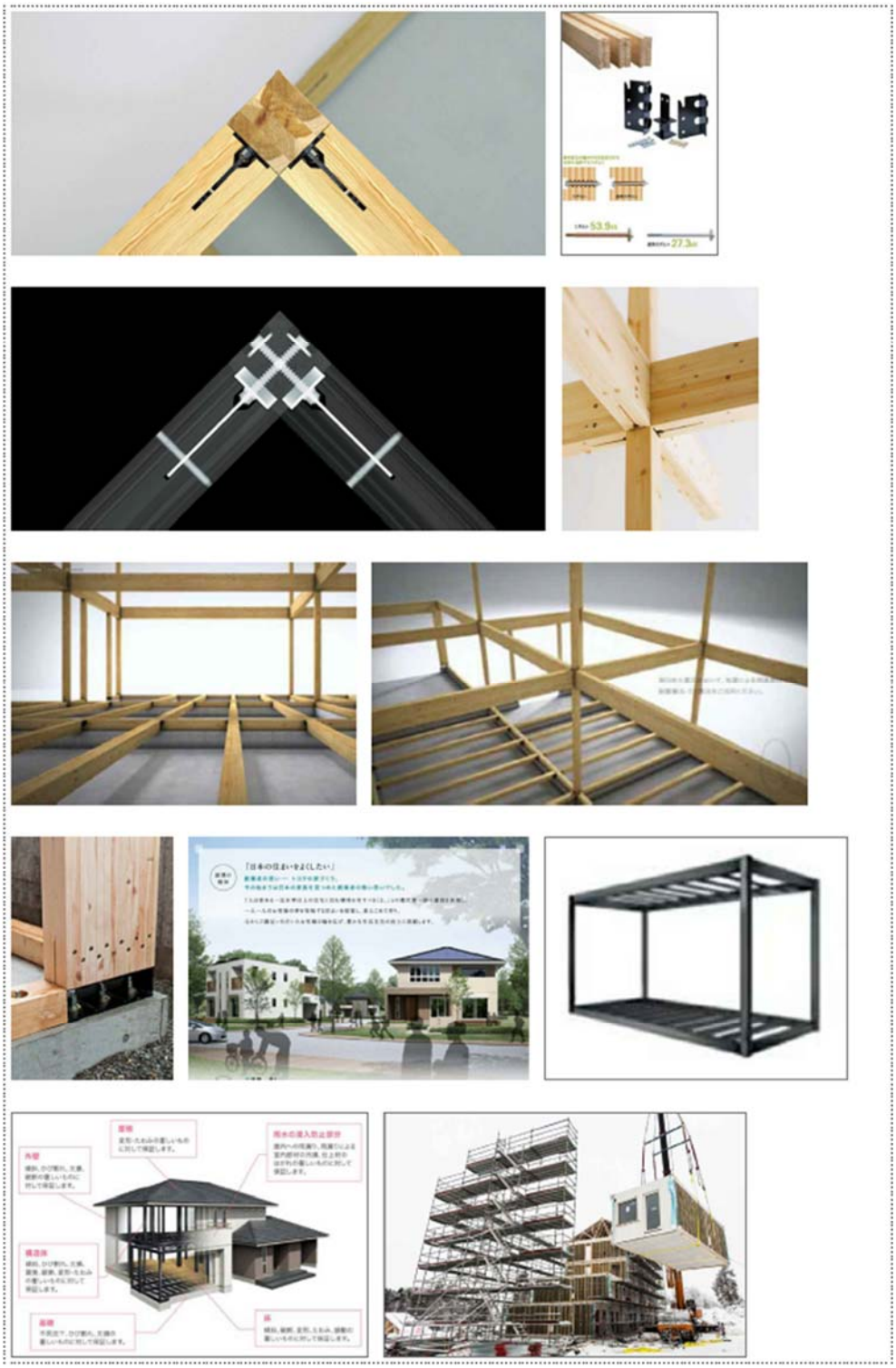


LÁMINA XXIV
FABRICACIÓN DIGITAL I

.

Muji House. 2004 · Toyota House. 1978-2024 · Boklok Ikea + Skanska. 1996-2024.







LÁMINA XXV
FABRICACIÓN DIGITAL II

.

ICD ITKE_Research Pavilion 2011 · Research Pavilion 2013 · Research Pavilion HygroShell 2023.

ANEXO 2. COLECCIONES DE CASOS

A continuación se presentan dos colecciones de casos de estudio con alto potencial de desmontaje que conforman la base de los inicios de la tesis.

Esta recopilación es el resultado de los primeros hallazgos de la investigación documental y de un extenso trabajo de campo, en el que se incluyeron visitas a los casos más representativos encontrados. Su objetivo, lejos de reflejar un listado exhaustivo de las soluciones arquitectónicas existentes en relación al tema de la investigación, era recoger una serie de casos representativos que contenían un alto interés tanto por los sistemas de montaje empleados como por las características de sus componentes y elementos. La recopilación se realizó en Europa, Japón y Estados Unidos.

La información recopilada se dispuso en un formato de fichas que incluía información acerca de la época de construcción, el contexto social, económico y geográfico de cada caso, el material y el sistema constructivo principal empleado, la fabricación y definición de piezas y juntas, el transporte y el montaje de cada una de las arquitecturas, así como sus posibilidades de desmontaje y reutilización. Las fichas también incluían documentación gráfica suficiente para la correcta comprensión y análisis de cada caso.

El estudio de casos se realizó en dos fases: la primera etapa se basó en el estudio de aquellas arquitecturas permanentes con alto potencial de desmontaje construidas en la Antigüedad y hasta la Revolución Científica; en la segunda etapa se incluyeron casos más recientes desarrollados a partir de la Revolución Industrial.

Estas dos fases dieron lugar a las colecciones que se presentan a continuación.

ARQUITECTURAS POTENCIALMENTE DESMONTABLES DE LA ANTIGÜEDAD · DESDE LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES SUPERIORES HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

.....

TEMPLO DE DEBOD. Adjalamani de Meroe. Siglo II a.C.

Orígenes.

El templo de Debod fue erigido en la región de Nubia, en pleno desierto, sobre una pequeña meseta inclinada hacia el valle del Nilo por su borde izquierdo. Situado en una zona fronteriza entre el reino nubio de Meroe y el Egipto de los Ptolomeos, este templo forma parte, desde su primera etapa constructiva, de un itinerario religioso —Tebas, Sais, Edfú, etc.— que conducía a Filé, la isla donde, según la tradición religiosa egipcia, Isis dio a luz a su hijo Horus.

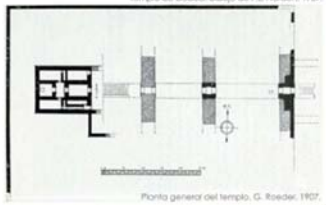
El templo de Debod fue el santuario y, probablemente, el elemento vertebrador de un núcleo urbano del que se conocen pocos datos. Se construyó a lo largo de más de 200 años y se pueden diferenciar tres etapas constructivas en su desarrollo:

Etapa Meroítica: corresponde a la construcción del núcleo originario del templo: la capilla de los relieves. Es el elemento más antiguo, construido por el rey Adjalamani de Meroe en el siglo II a.C. Se trataba de una estancia rectangular, de pequeñas dimensiones con una única puerta de acceso por el Este. Sus muros exteriores estaban dispuestos en talud y, probablemente, estarían enmarcados por un «toro», moldura de tres cuartos de círculo, siendo todo el conjunto rematado por una gola.

Etapa Ptolemaica: a partir de este núcleo primitivo los faraones de la dinastía Ptolemaica llevaron a cabo una serie de transformaciones y ampliaciones con el fin de engrandecer el santuario original. Con anterioridad a Ptolomeo VIII se cierra toda la parte



Templo de Debod. Dibujo de F.L. Norden. 1737.



Planta general del templo. G. Roeder. 1907.



Fotografía. G. Roeder. 1908.



Piezas del templo desmontado. Verano de 1961.

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

TEMPLO DE DEBOD. Adjalamani de Meroe. Siglo II a.C. (Continuación).

posterior del templo que incluiría la capilla de la naos, su antesala y las dos estancias laterales que se abren a dicha antesala, así como, con seguridad, un pilono, el segundo. El resto de las estancias se realizarían también en los siguientes reinados ptolemaicos.

Etapa romana (desde el año 30 a.C): las actuaciones romanas se limitaron a la decoración de algunos muros y a ultimar algunos detalles constructivos. De este momento sería también el embarcadero que remataría una vía sacra murada, por la que el templo se ponía en comunicación con el Nilo. En el siglo VI d.C. el emperador Justiniano decretaría el cierre de los templos paganos en todo el imperio bizantino (del cual Egipto era una provincia). Con este decreto, los templos egipcios dedicados a los dioses tradicionales fueron también clausurados. El templo de Debod sería entonces abandonado para siempre.

La primera referencia gráfica del templo, junto con una brevísima descripción del lugar, nos la ofrece el danés Frederic-Louis Norden en 1737. Casi un siglo después, en 1813, el suizo John Lewis Burckhardt nos da la primera exacta descripción del monumento. De excepcional interés es la documentación gráfica (dibujos de plantas, alzados y ornamentación) realizada por el el arquitecto alemán F. C. Gau en 1819. A lo largo del siglo XIX y principios del XX, el templo fue nuevamente visitado por exploradores y egiptólogos que ofrecieron una descripción gráfica y mostraron indirectamente en sus trabajos el paulatino deterioro del edificio. Bajo la dirección de Maspero, el arquitecto egipcio al-Bansanti reconstruyó en 1907 y 1908 lo que aún quedaba del monumento por orden del Servicio de Antigüedades de Egipto. Al terminarse esta reconstrucción Günther Roeder, publicó el más completo y detallado estudio que poseemos del templo de Debod (documentación fotográfica, planos y alzados).

Desmonte y traslado.

Mientras todos estos estudios nos indican el valor histórico, artístico y arqueológico del templo de Debod, a la historia dura de este monumento tenemos que añadir los cuarenta y nueve años que hubo de estar sumergido de ocho a diez meses bajo las aguas de la presa de Assuán (construida en 1907). Solamente durante el verano quedaba de nuevo libre de la inundación. Por ello el deterioro del monumento avanzó más y más; incluso el primer pilono del templo reconstruido por Barsanti se derrumbó al haber cedido los cimientos. Muy mal tratado y debilitadas sus piedras, cuando la UNESCO en 1960 organizó la llamada Campaña de Nubia para salvar los monumentos y yacimientos arqueológicos de aquella región antes de ser inundados para siempre. El director del llamado Comité Español fue el profesor y arqueólogo Martín Almagro Basch. El templo de Debod fue el primero que se desmontó, por ser el más inmediatamente amenazada por su proximidad a la nueva gran presa de Assuán. En 1961 se trasladaron todos los bloques del templo a la isla de Elefantina, frente a Assuán, y se realizaron algunas excavaciones de los cimientos de la construcción y en los alrededores del templo.

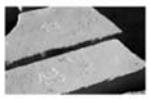
"Estos trabajos realizados a expensas de la UNESCO los llevó a cabo el Servicio de Antigüedades de Egipto, asistido por algunos arqueólogos polacos. Se hicieron, a nuestro juicio, con demasiada precipitación, como hemos podido comprobar en varios ocasiones a lo largo de nuestros trabajos de reconstrucción del monumento en Madrid. Además se renunció a salvar elementos de la construcción que creemos debieron ser salvados. Así, no se recuperó ninguna de las piedras del fundamento de la construcción, ni siquiera aquellas sobre las cuales



Templo de Debod en su emplazamiento original. 1960.



Piezas del templo desmontado. Verano de 1961.



Numeración de piezas.



Piezas almacenadas en la isla de Elefantina.

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

TEMPLO DE DEBOD. Adjalamani de Meroe. Siglo II a.C. (Continuación).

amarraban los muros y que tenían un interés por su labra. Sólo a base de los antiguos planos y secciones que nos dejaron los estudios llevados a cabo por los arqueólogos que se ocuparon del templo, hemos podido reproducir la forma de la moldura que ofrecían los bloques sobre los que se cimentó el templo y hemos salvado así este importante detalle. Nada se recuperó de la vía sacra, ni del embarcadero, lo cual es más comprensible, pues en parte alguna fuera de Egipto se podría organizar un ambiente topográfico equivalente. De las tareas realizadas y circunstancias en que se desenvolvió el trabajo sólo se ha publicado una breve descripción. Hemos pedido en más de una ocasión si se nos podría facilitar alguna exposición circunstanciada de los trabajos de desmonte del templo, pero no hemos logrado alcanzar a saber si tal relación se hizo. Solamente cuando se nos entregaron las piedras del templo se nos dio un plano del monumento y un croquis de los alzados con una numeración de situación de las piedras. Los planos se completaron con una colección de fotografías. Todo ello sin ninguna referencia escrita.

Nosotros pacientemente tuvimos que ir interpretando las signaturas y subsanando algunos errores, pues había bloques que tenían la misma referencia topográfica y que precisó averiguar pacientemente cuál era su verdadero sitio. Algunas piedras las recibimos sin numeración, otras las perdieron. Incluso los sillares del primer pilono, por estar derrumbado, como ya hemos dicho, quedaron sin numerar y hemos tenido que reconstruirlo con gran dificultad y con posibles errores de menor importancia. También hemos visto que algunas piedras que se ven en la reconstrucción de Barsanti, tanto en los planos recibidos como en las fotografías documentales que se hicieron para el citado Centro de Documentación Egiptológica de El Cairo, aparecen tan deterioradas que no ha sido posible saber si se trasladaron a Elefantina o no. Algunas ciertamente debieron ser abandonadas por su avanzado estado de destrucción, pero nuestras dudas a veces no se han aclarado por no haber recibido ninguna referencia escrita para orientación y ayuda a nuestro trabajo. Sin embargo, las partes del templo decoradas, las más importantes, han llegado a Madrid sin mayor deterioro, pero algún fragmento se debió romper o se ha perdido antes de llegar a Elefantina. Sin embargo, no es demasiada grave lo que este conjunto decorativo del arte egipcio ha podido en el traslado, excepto lo que han perdido los bordes de los bloques



Las cajas en que fueron embalados todos los sillares del templo de Debod depositadas en el solar del "Cuartel de la Montaña » de Madrid.



Labra definitiva de la piedra una vez colocadas en los templos. A. Choisy. 1904.



Detalle de la base de las columnas egipcias. Fuste reducido en el arranque (B) y disco de apoyo. A. Choisy. 1904.



Enlaces de piedras con piezas de madera en forma de cola de milano. Templo de Edfú. Fotografía de A. Choisy. 1904.

muy desgastados en sus juntas. Barsanti retocó estas junturas de los bloques con cemento y al tener que arrancar uno por uno los bloques para el traslado del templo desde su lugar a la isla de Elefantina, forzosamente sufrieron bastante. Pero esta parte del trabajo de desmonte del monumento nos parece fue realizado con mayor cuidado que todo el resto. Sólo en los dos bloques de

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

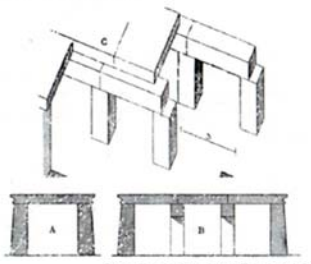
TEMPLO DE DEBOD. Adjalamani de Meroe. Siglo II a.C. (Continuación).

la fachada posterior del monumento, en los que aparece grabada la cabeza del dios Mahesa junto a una representación de Amón, se percibe un lamentable daño que además se quiso disimular torpemente con cemento vulgar oscuro y rudo que con cuidado hemos procurado raspar, restaurando de nuevo la decoración perdida.

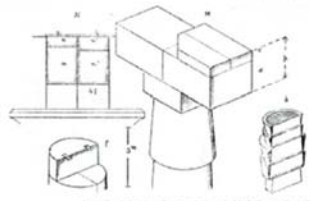
Desmontado el templo y trasladado a la isla de Elefantina allí quedó depositado hasta 1968 en que fue donado a España por un decreto del Presidente Nasser. Finalizados cuantos trámites llevó consigo tan señalada concesión, en 1970, habiéndose entregado al Ayuntamiento de Madrid por el Gobierno de la Nación, al fin logramos ver llegar el monumento a la capital. A expensas del Ayuntamiento se ha realizado su traslado y ha quedado instalado en el parque que ocupa un pequeño altozano denominado Montaña del Príncipe Pío, que día nombre al famoso «Cuartel de la Montaña». Desde este lugar privilegiado se domina el valle del Manzanares y se goza una espléndida vista del Palacio Real, de la Casa de Campo y de la lejana sierra de Guadarrama. Así la visita al templo de Debod y al actual parque del Cuartel de la Montaña, permite gozar a la vez de los sugestivos puntos de vista que el moderno Madrid ofrece." [Almagro, 1971]

Reconstrucción.

"Decidida su reconstrucción en el solar de la montaña del Príncipe Pío, el arquitecto jefe de los servicios de jardines y parques del Ayuntamiento de Madrid, don Manuel Herrera Palacios, llevó a cabo el proyecto del parque en el cual el templo de Debod pasó a ser su elemento central. Para emplazar el monumento organizó con acierto una plataforma que permitiera conservar en primer lugar la orientación este-oeste que el templo tuvo y con una adecuada pendiente la estructura que ofrecían en su antiguo emplazamiento los dos pilonos conservados y la del templo propiamente dicho. Por medio de un podium se logró dar una protección adecuada a todas las construcciones y sobre todo al templo. [...]. Las piedras del templo se han colocado sobre cimientos bien preparados y aislándolas con planchas de plomo de la humedad del suelo. Al llevar a cabo la reconstrucción no hemos tenido dificultades mayores. Los bloques se han trabado de forma que si fuera necesario desmontar un día el monumento por cualquier razón la reconstrucción realizada permitía llevar la tarea a cabo con los menores riesgos posibles. Se han empleado simples uñas metálicas de bronce, en sustitución de



Perspectiva y secciones de un edificio de cantería. A. Choisy. 1904.
A: un único vano, B: vano más grande que se divide en tramos con filas de pilares que soportan vigas de piedras sobre las que apoya la techumbre. C: losas de cubierta.

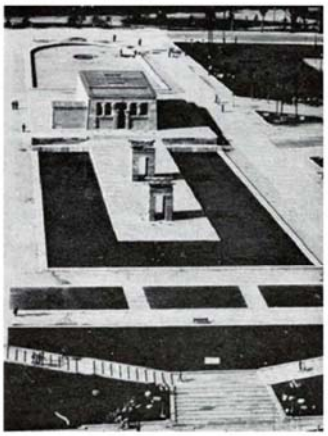


Aparejo de los arquitrabes de la sala hipóstila de Karnak. A. Choisy. 1904.

las viejas grapas en forma de cola de milano que amarraron los antiguos bloques, y como elemento de cimentación sólo se ha usado cal y nunca cemento. Al realizar la reconstrucción hemos rehecho las partes exteriores del templo que faltaban, pues ello ha convenido para mayor seguridad del conjunto y para resolver problemas de conservación de todo el monumento. Sobre todo hemos rehecho casi por completo el vestíbulo que a fines del siglo XIX fue grandemente destruido y robado. Barsanti sólo rehizo parte de los muros laterales y en gran parte completó muchos bloques a base de cemento de un color cercano a la piedra. Nosotros hemos empleado bloques de una arenisca distinta a la del templo fácilmente indentificable, pues se diferencia sin esfuerzo de los bloques antiguos auténticos. Esta arenisca, sin embargo, entona con los bloques antiguos del templo. También hemos eliminado y disimulado las huellas de muchas grapas de hierro usadas para amarrar los bloques entre sí o unir los fragmentos para así volverlos a poner en su sitio. Sobre todo, los grandes dinteles de los pilonos y otros bloques de gran tamaño con señal de rajas o de patente debilidad de la piedra ofrecían encorjes de viguetas de hierro y sufrieron grandemente al desmontarlos y trasladarlos a Madrid. Al volverlos a colocar en su sitio hemos procurado evitar poner a la vista estos refuerzos de los bloques, ciertamente muy débiles, pero que fueron tratados con gran rudeza al consolidar el templo en 1907. En general, no nos

TEMPLO DE DEBOD. Adijalamani de Meroe. Siglo II a.C. (Continuación).

hemos atrevido a someterlos a endurecimiento químico, ya que la instalación de aire acondicionado esperamos no haga necesario usar de este procedimiento. Sólo las partes exteriores y algunos bloques por razones especiales han sido protegidos por expertos del Instituto Central de Restauración, buscando que el color de la piedra no sufra mayor alteración. [...]
Sobre todo se presentaba difícil asegurar la permanente conservación del muro interior del vestíbulo decorado por Augusto y que Barsanti dejó convertido en fachada del templo, lo cual daba ciertamente una muy arbitraria impresión del monumento. La solución adoptada ha sido reconstruir el vestíbulo destruido del que fueron robadas sus piedras en el siglo XIX. Así, hemos dejado debidamente acondicionados aquellos bloques decorados. Por razones de conservación general del monumento nos ha parecido tal reconstrucción una exigencia que a la vez servía a una más adecuada valoración arqueológica del conjunto y , por otra parte, nada de lo rehecho ahora es otra cosa que volver a reconstruir lo que no hace muchos años estaba en pie y tenemos debidamente documentado, incluso los capiteles, aunque fragmentados, hemos podido rehacerlos y dejar los fragmentados elementos antiguos al pie de las columnas, de las cuales sólo en parte se nos habían conservado algunos tambores de sus fustes.
Mas nada se ha inventado en la reconstrucción que se ofrece al visitante de lo que realmente fue esta parte de la construcción."[ALMAGRO, EL TEMPLO DE DEBOD, 1971]



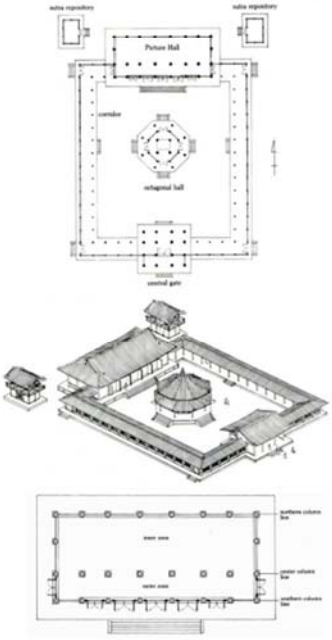
Casos similares.
Templos de la región de Nubia:
- Templos de Isis-Philoe (trasladados a la isla de Agilkia a 150 km).
- Templo de Abu-Simbel (trasladado 65 km al norte).
- Templo de Kalabsha (trasladado 50 km al sur de Asuán).
- Templo de Dendur (donado a EE.UU. MOMA).
- Templo de Ellesiya (donado a Italia. Museo Egipcio de Turín).
- Templo de Taffa (donado a Holanda. Rijksmuseum van Oudheden).

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

TEMPLO DE YAKUSHI-JI. Emperador Temmu. 680 d.C.

El original Yakushi-ji, construido en Fujiwara-kyô, la capital de Japón en el período Asuka, fue encargado por el Emperador Temmu en el año 680 para orar por la recuperación de su consorte enferma, quien le sucedió como Emperatriz Jitô. Este acto de construcción de templos para la devoción a figuras budistas fue una práctica común entre la nobleza japonesa cuando el budismo fue importado de China y Corea. Cuando el Emperador Temmu muere la Emperatriz Jitô completa el complejo en torno a 698.
Ocho años más tarde, una nueva capital llamada Heijô se establece al norte de Fujiwara, en el lugar que ocupa hoy la actual Nara. Ya que la construcción en madera del momento permitía su fácil desmontaje y transporte, muchas construcciones importantes, como palacios y templos, fueron trasladadas a la nueva capital cuando la Corte imperial se estableció en ella.
Yakushi-ji fue desmontado pieza a pieza, llevado y levantado con la misma estructura y planta en la nueva capital en 718. Los incendios destruyeron la mayor parte del complejo de edificios en 973, y el salón principal durante la guerra civil en 1528. La mayoría de sus actuales dependencias fueron reconstruidas en el período Kamakura.
A final de los años 60 se inicia una nueva compaña de restauración de las distintas construcciones del templo.
En 1979 se inicia la creación de una réplica del complejo, llamada Sanzô-in, junto al Templo antiguo, que reproduce las características técnicas y constructivas del complejo principal. En este complejo se construye el pabellón llamado "Picture Hall". El seguimiento y estudio del levantamiento de este pequeño templo nos permitirá conocer la construcción en madera del antiguo templo japonés y entender la realidad del desmontaje y traslado del edificio llevada a cabo en el año 718.



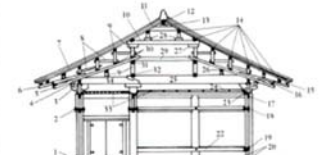


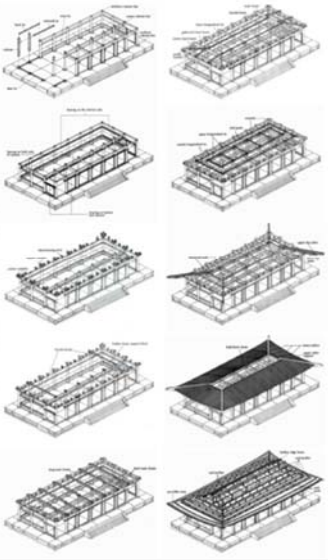
Construcción.
"El 1 de Noviembre de 1985, seis meses después de que se iniciara la fabricación de las piezas, comienzan los trabajos de levantamiento del "Picture Hall". El montaje de la estructura básica, incluida gran parte de la cubierta, se realizó en un mes.
Cimentación - se construye un podium con paredes de piedra y barro, en el que se colocan grandes piedras, una bajo cada columna. Esta base se revestirá con un pavimento de piezas de granito de la cantera de la prefectura de Hyogo. En cada una de las 26 piedras de cimentación de las

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

TEMPLO DE YAKUSHI-JI. Emperador Temmu. 680 d.C. (Continuación).

26 columnas sobresale un perno de bronce que encajará en el orificio correspondiente realizado en la base de cada columna. Estas, a su vez, tienen forma ligeramente cóncava, para disminuir la posibilidad de que el agua quede atrapada en la madera causando podredumbre.
Columnas y vigas de atado - veinte columnas forman el perímetro y seis se sitúan en el interior. Todas ellas se unen mediante vigas de atado situadas en cuatro niveles: en la base, a media altura inferior, a media altura superior, y en cabeza. Las columnas interiores no disponen de los dos niveles de atado inferior.
Ya que las vigas de atado inferiores descansan directamente sobre cimentación, se colocan antes que las columnas. Las vigas de atado intermedias se encajan y se aseguran con cuñas. Finalmente, las vigas de cabeza se colocan en las ranuras del extremo superior de las columnas. Estas vigas superiores enlazan unas con otras mediante juntas de empalme situadas sobre las columnas. En las esquinas sólo penetran parcialmente en éstas.
Vigas riostras horizontales - estas vigas se añaden en la parte superior e inferior de las aperturas (en ambas caras), a la altura del techo, y a la altura de las vigas de atado de media altura superiores e inferiores en el interior. Presentan cortes semicirculares que encajan con las columnas, y cada segmento debe ser adaptado individualmente a las curvas de las columnas después de que se haya levantado la estructura básica. Un tipo especial de estas vigas se empleará en la parte inferior de las puertas.
Cabezas de los soportes - un gran bloque de madera se fija primero a la cabeza de la columna por medio de una espiga cilíndrica insertada en la viga de atado de cabeza. Después se añade una zapata, y luego otra de centrado que descansa sobre el bloque inicial y la primera zapata. Finalmente, dos pequeños bloques se colocan en la parte superior mediante dos espigas completando el conjunto. En los soportes de esquina el detalle es similar, pero con tres zapatas, una de ellas dispuesta a 45º.
En este momento se añaden unos pequeños puntales sobre las vigas de atado superiores entre los cabezas de los soportes.
Vigas soporte - para reforzar los hastiales se sitúan dos vigas que descansan en un extremo sobre las cabezas de dos soportes perimetrales, y en el otro sobre las columnas de la línea central, a las que se anclan mediante uniones en cojo y espiga, lo que asegura la correcta posición de las vigas.

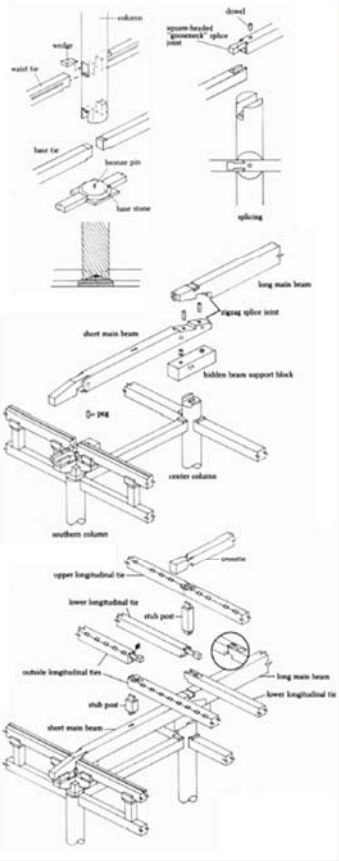

87. North-south section. 1) doorsill, 2) mid-wall horizontal brace beam, 3) bracket complex, 4) wall purlin, 5) lower rafter, 6) upper rafter, 7) hidden rafters, 8) bridging, 9) stub posts, 10) mid-crosstie, 11) upper crosstie, 12) hidden ridge beam, 13) hidden ridge-beam support block, 14) roof purlins, 15) eaves support, 16) upper rafter support, 17) head ties, 18) mid-wall perforating tie beam, 19) waist tie beam, 20) base tie beam, 21) platform, 22) waist horizontal brace beam, 23) ceiling horizontal brace beam, 24) ceiling-25) main beam, 26) outside longitudinal tie, 27) hidden support block, 28) post support block, 29) lower crosstie, 30) rafter hold-down beams, 31) upper longitudinal tie, 32) lower longitudinal tie, 33) ceiling lattice, 34) short main beam.



Paula Jolén Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

TEMPLO DE YAKUSHI-JI. Emperador Temmu. 680 d.C. (Continuación).

Vigas de borde - descansan sobre las cabezas de los soportes y los pequeños puntales intermedios, atando la estructura completa en ese nivel. Estas vigas se dividen en tres tramos en los lados largos y en dos en los cortos, haciendo coincidir las juntas sobre las cabezas de las columnas. Las juntas están diseñadas para proporcionar una superficie lisa sobre la que puedan descansar los elementos, y para resistir tanto tracción como torsión. Estas vigas vuelan en las esquinas.
Vigas principales - el siguiente nivel de la estructura está compuesto por pesados vigas que forman la estructura transversal, soportando la mayor parte de la carga de cubierta. Están divididas en dos tramos de distinta longitud cuya junta se sitúa sobre las columnas interiores. Primero se colocan los tramos cortos y posteriormente los largos que se unirán a los primeros mediante un empalme en rayo de Júpiter. Estas vigas deben ser atadas por medio de largos tirantes que recorren toda la estructura. Al igual que las vigas de atado de las cabezas de las columnas, estos tirantes están compuestos de varios tramos unidos entre ellos sobre las vigas principales y con las propias vigas a media madera.
Las vigas principales de esquina se extienden desde las cabezas de las columnas de esquina hasta la viga principal más cercana, adquiriendo cierta pendiente. Sobre ella se sitúa la viga de hastial que adopta una pendiente aún mayor. El resultado es una pila de elementos estructurales sobre las vigas principales, creando un gran nudo de madera.
Dos niveles más de tirantes longitudinales se instalan ahora sobre enanos. Se atan mediante traviesas que conectan también con los hastiales.
Lima bordón - se compone de dos partes: inferior (o "base") y superior (o "vuelo"). Vuelan más allá de la línea de fachada un tercio de su longitud y soportan una considerable proporción de la sobrecarga del voladizo de la cubierta. Las "bases" se encajan en ranuras en tres puntos: en el encuentro de los tirantes interiores, en la esquina de la viga principal, y en la unión de la viga de borde y la cabeza de la columna de esquina. Están diseñada para estabilizar distintas capas de la estructura a la vez que se apoya sobre ellas.
Las "bases" requieren una cuidada instalación, ya que el extremo de cada una de ellas debe estar perfectamente nivelado. Una vez que la "base" está colocada, la parte superior se instala fijándola mediante un surco y dos espigas rectangulares. Las dos partes de la lima bordón se unirán de manera

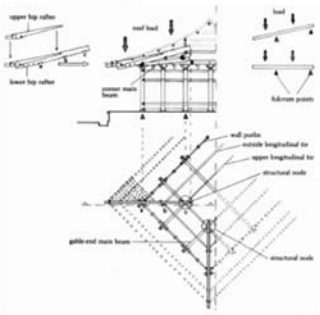


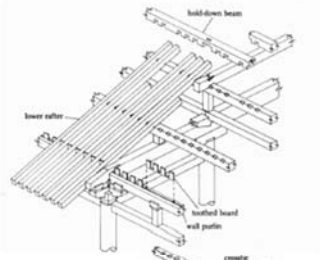
TEMPLO DE YAKUSHI-JI. Emperador Temmu. 680 d.C. (Continuación).

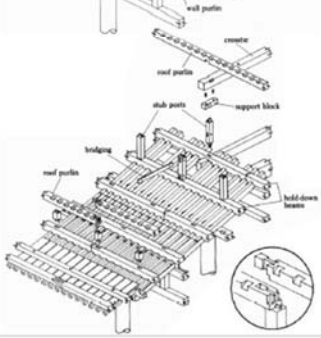
permanente mediante pasadores de sujeción de hierro forjado en forma de U de gran tamaño tras la colocación de las correas y los pares de cubierta.
Estructura oculta de cubierta - un rasgo que diferencia los templos japoneses de los prototipos continentales es el uso de una "ilusión" en la cubierta. Los pares que aparecen en los aleros no son los reales ya que no soportan directamente la superficie de cubierta. La inclinación de la cubierta real es mayor que la que presentan los elementos expuestos en los aleros; de ahí se dice que los templos japoneses tienen una cubierta oculta. En efecto, existe un espacio vacío entre la suave pendiente de las vigas expuestas y los pares ocultos de fuerte pendiente. Este vacío contiene enanos y correas, y numerosos pequeños tirantes. Los pares reales apoyan sobre las correas y están completamente ocultos a la vista.
Los enanos se encajan mediante caja y espiga en las correas inferiores, y crecen en altura conforme se aproximan a la cumbrera. En la zona superior se coloca otro conjunto de durmientes apoyados sobre zapatas situadas sobre los enanos. Dos conjuntos más de enanos se encajan en los durmientes, seguidos de dos juegos más de correas. A esto le sigue otro conjunto de durmientes, y finalmente las zapatas que soportan la cumbrera oculta." [AZBY, THE GENIUS OF JAPANESE CARPENTRY. 1995].

Casos similares.
Templos de Asuka-dera (construido en el 588 en el valle de Asuka, fue desmontado y trasladado en el 719 a Nara).









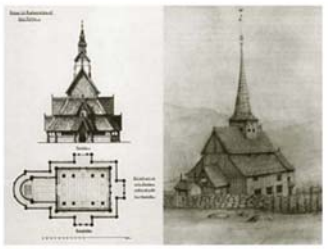
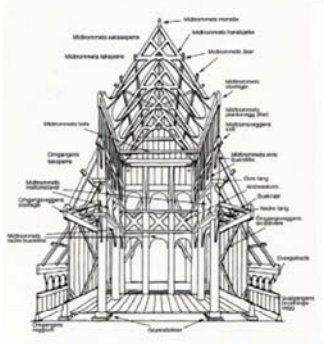
ESTUDIO DE CASOS
TEMPLO DE YAKUSHI-JI. Emperador Temmu. 680 d.C.

Paula Jolín Caparrós. TE_2013-07. Julio 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

IGLESIA DE GOL. Stavkirke s. XII.

La iglesia de madera de Gol es una iglesia de madera medieval construida entre los siglos XII y XIII en el pequeño pueblo de Gol, provincia de Buskerud, en Noruega. En enero de 1884 la iglesia fue desmontada. El arquitecto encargado de los planos y el inventario había sido Thoralf Prytz. En marzo, las piezas fueron transportadas en trineo hasta la estación de ferrocarril más cercana. El transporte en tren fue gratuito y las piezas llegaron llesas hasta la estación de Bygdøy. En la reconstrucción participaron el arquitecto Waldemar Hansteen y el maestro albañil Torsten Torstensen. La iglesia quedó terminada en el verano de 1885 en el Museo del Pueblo Noruego, donde permanece en la actualidad.

Construcción.
Es una de las llamadas *stavkirke*, templos cristianos medievales construidos en el Norte de Europa cuya característica principal es su técnica de construcción, la *stavverk*, que consiste en un armazón de madera formado de *stav* —gruesos postes circulares que le dan nombre a las iglesias— sostenidos por espigas a un marco cuadrado de soleras de madera, que a su vez se halla asentado sobre cimientos de roca, protegiendo a la madera de la humedad. La técnica relaciona a las *stavkirke* con el entramado de madera, y les confiere, además de resistencia a las condiciones climáticas, estabilidad y rigidez. La *stavverk* es descendiente de las desaparecidas iglesias de postes, construcciones de técnica más sencilla, aunque en ocasiones bastante similares a las propias *stavkirke*.
La iglesia de Gol es una *stavkirke* de tipo B y del grupo de Borgund, con una estructura formada por postes internos libres que delimitan una sala central (de modo similar a las columnas de la nave de las basílicas) y sostienen el techo de ésta; la sala central está rodeada por un deambulatorio cuyo techo es más bajo. Sobre los cimientos de piedra hay cuatro gruesas vigas de madera (grunnstokker) que se cruzan entre sí y forman un rígido armazón en forma de un signo #. Cada viga se extiende entre 1 y 2 m más allá del punto de intersección. Los extremos de las vigas sostienen las soleras de los muros exteriores, formando un marco cuadrado horizontal independiente del marco cuadrado central formado por las vigas gruesas. Los postes de la sala central se colocan en el cuadro central y son los encargados de sostener el techo elevado de la sala central. En el marco horizontal exterior de soleras reposan los cuatro pares de tubulares con sus postes esquineros, que son las

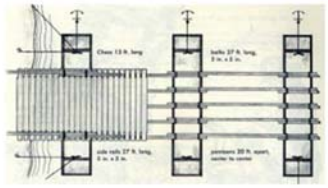


Midtrønnrekk nordside
Midtrønnrekk hanalykke
Midtrønnrekk lave
Midtrønnrekk høyere
Midtrønnrekk sørsiden
Midtrønnrekk vestre
Midtrønnrekk østre
Midtrønnrekk nedre
Midtrønnrekk nedre
Midtrønnrekk ned

PUENTE PONTOON. s. IX a.C. - act.

Un puente pontón o puente flotante o un puente de barcos es un puente que flota en el agua y en el que pontones barcazas o barcas sirven como apoyo a la cubierta y soportan sus cargas dinámicas. Son generalmente estructuras temporales, aunque algunos pueden utilizarse durante largos periodos de tiempo. Los temporales se emplean frecuentemente en tiempos de guerra para el cruce de ríos, y, despendiendo del vencedor de la batalla, son desmontados o destruidos después de cruzar. Los permanentes se emplean para el cruce de aguas donde no resulta económicamente viable suspender o apoyar un tablero entre pilares anclados.
Sus orígenes se remontan a la antigua China [s. IX a.C.] y Persia (Jerjes, 480 a.C.). Sin embargo, probablemente fue el ejército romano el que hizo del puente de pontones fácilmente montable una elemento habitual en su doctrina.



Construcción.
El puente pontoon es una estructura básica fácil de construir, formada por múltiples pontones flotantes que se mantienen unidos. Flota en el agua sin necesidad de soportes o pilares. No es necesario el empleo de clavos en su construcción, todo se mantiene atado dando lugar a un conjunto flexible, fácil de construir, desmontar, mover y volver a utilizar.
El puente está diseñado para moverse ligeramente con la corriente evitando así su rotura. Su construcción se realiza con pocos componentes. El más importante es el flotador o pontón. Inicialmente los pontones eran de madera, también se han empleado pontones de caucho, y de estructura de barras de madera envuelta en lona (dim. 26x5x2 feet).
Mover estos puentes no era una tarea fácil. Un caravana típico consistía en 34 vagones pontoon y 28 vagones de forja y herramientas. Cada pontón requería un vagón, el cable y el ancla se colocaban en el interior de la barca, los remos, toletes, garfios y cuerdos bajo el eje trasero.
El ancho del río y la naturaleza de las orillas determinaban la elección de la mejor ubicación para comenzar a construir el puente. Tras la preparación de los apoyos en los bordes (que a veces requerían importantes movimientos de tierra), y la descarga y montaje de los barcos, los primeros dos pontones una vez anclados aguas arriba se derivan aguas abajo y se aseguran en su posición mediante otro ancla intermedio. Todos los barcos se aseguran en la línea de anclas superiores, pero sólo uno de cada dos

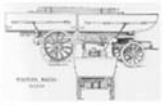














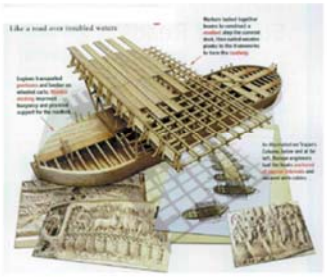


PUENTE PONTOON. s. IX a.C. - act. (Continuación).

se sujeta con anclajes intermedios. Una vez colocado el primer pontón se repite el mismo procedimiento. Se colocan ahora las vigas entre la tierra firme y el primer barco. Estas vigas son traviesas de madera que se fijan a las bordas del costado del barco dejando seis centímetros volando fuera del pontón. Además de actuar como espaciadores soportan el tablero de la cubierta del puente. Los pontones mantienen habitualmente una separación de 20 pies. Posteriormente se amarra todo el conjunto. Las tablas de la cubierta tienen una longitud de 13 pies y se colocan perpendiculares a las vigas volando 1 pie sobre el pontón. Unos bordillos laterales ("carriles") se colocan sobre el tablero de cubierta encima de las vigas exteriores y se atan a las tablas y a las vigas.
El desmontaje del puente dependía de la victoria o pérdida en la batalla. Si el balance era positivo se desmontaba el puente de manera inversa a su construcción y se cargaba en los vagones. Si se requería un retiro rápido se cortaban las líneas de anclaje iniciales de los extremos dejando al puente a la deriva hasta un lugar donde se pudiera desmontar.
Para su montaje se requerían seis equipos de hombres especialmente entrenados para ejecutar cada paso. La "Union Army" llegó a construir un puente de 2.200 pies sobre el río James en cinco horas empleando a 450 hombres.
El empleo de estos puentes ha llegado hasta nuestros días, destacando su uso militar.





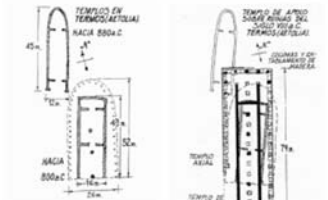


PRIMEROS TEMPLOS DORICOS. s. IX a.C. - s. VI a.C.

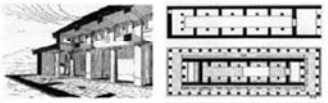
"De la evolución del Orden Dórico es del que se tiene mayor argumentación, pues durante mucho tiempo ha sido el más apreciado o mejor visto por la arqueología que tomó a Corinto y Argos como foco cultural de este arte. Su gran producción se reparte por el noroeste de la Grecia Continental, Corfú, Sur de Italia y Sicilia. Como primeros templos dóricos pueden reseñarse El Santuario de Termos (900 años a.c.), templo en ábside, levantado con muros de adobe con refuerzos de madera, dotado de un zócalo de mampuestos y cubierta vegetal; el Segundo Templo de Termos (800 años a.c.), con ábside menos curvado, muros de adobe y rodeado de columnas de madera que quedaban lejos y fuera de la techumbre; el Templo de Apolo en Termos (625 años a.c.), templo axial, aún con columnas de madera; el Templo de Hera I en Olympia (600 años a.c.), todavía la piedra se limitaba al estilobato y a la parte baja de los muros, las columnas de madera, estriadas y provistas de collarín metálico, no fueron sustituidas por columnas de piedra, una a una, hasta el año 170 a.c., como ya hablamos señalado anteriormente. Por último, el de Artemisa en Corfú (590 años a.c.) que es considerado como el primer templo griego construido en piedra." [Ortega, 1993]

Construcción.
Estos primeros templos dóricos construidos en piedra presentaban un aspecto realmente tosco. Sus columnas, con una altura que no superaba seis veces el diámetro, se mostraban rechonchas y disponían de un ábaco que se hacía muy visible, en tanto que el capitel quedaba casi sin expresión, con una generatriz muy horizontal o tendida y recordaba un cojín de corta altura. El entablamento, con un friso excesivamente alto y masivo para elevar la cubierta respecto al arquitrabe, se presentaba muy pesado. Este orden, que se mantuvo sin bases, es decir, con la columna emergiendo directamente del estilobato, evolucionó hacia la ligereza de sus elementos elevando ligeramente su columna y peraltando considerablemente el perfil de su capitel. Asimismo, acortó su friso y, sobre todo, fue cargándolo de ritmo y decoración. La cubierta fue bajando la inclinación de sus faldones.
Es cierto que todos los elementos del dórico atendían y establecían un mimetismo inmediato en relación con la funcionalidad que dichos elementos habían prestado en el templo construido en madera. No obstante, se ha especulado en exceso con la interpretación o correlación de las formas de los elementos en piedra del

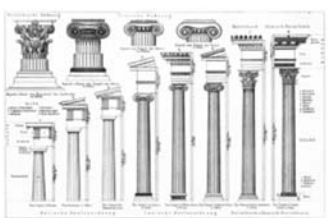




Santuario de Termos (900 a. C.), Segundo Templo de Termos (800 a.C.) y Templo de Apolo (625 a.C.).

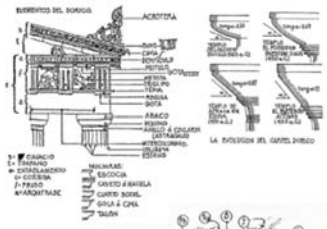


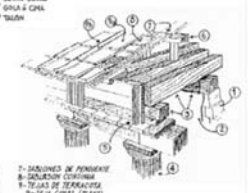
Templo de Hera I en Olympia, 600 a.C.

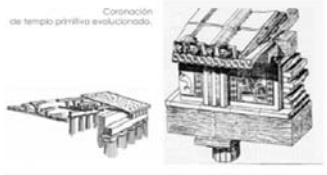


PRIMEROS TEMPLOS DORICOS. s. IX a.C. - s. VI a.C. (Continuación).

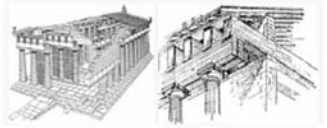
templo, y sus correspondientes en los antiguos de madera. Así, hemos oído y leído reiteradamente que los triglifos eran los recuerdos de las cabezas de las vigas de madera que asomaban por encima del arquitrabe.
Allí, en el templo de madera, el friso era una gran masa de tablas acostadas en la que descargaban las vigas transversales. Estas tablas tendidas tenían que cubrirse, exteriormente, con otras colocadas verticalmente, como tablas paredañas, cuyas uniones debían ocultar los triglifos (tres palos verticales de uniones acanaladas). Las uniones de las tablas paredañas o posición de los triglifos, era lógico que se localizaron sobre los ejes de las columnas, pero nada tenían que ver con la posición de las vigas transversales del armazón de la cubierta, las cuales descargaban más arriba, en la cornisa. Por tanto, los triglifos de los templos en piedra, simbolizan directamente a los triglifos de los templos de madera y no mimetizan a las cabezas de las vigas que nunca asomaron en el friso del templo de madera. También había que proteger los espacios entre los triglifos de la construcción en madera, y esto se hacía con placas de terracota cuyo tamaño, por razón de fragilidad, había que limitar. Por ello, es razonable que los triglifos se acercasen y se situasen, además de sobre las columnas, en el centro de los vanos, aunque ya, sin función de unión de las tablas paredañas. Estas tabillas cerámicas metopas también se reprodujeron en el friso pétreo, pero tampoco debe adjudicársele el simbolismo de cerrar el espacio entrevigado de las vigas transversales, y mucho menos en las fachadas frontales, cómo en muchos textos se repite.
Las gotas, pequeños conos truncados, que aparecen debajo de los mútulos (almohadillados o modillones de la cornisa) y debajo de las tenias de la construcción en piedra, simbolizan cuños y espigas de sujeción de las tabillas y triglifos de la construcción en madera. Igualmente, las estrías de la columna, se pueden relacionar con las caras poligonales que tenían las columnas de madera, producto del trabajo de desbastado con la azuela del carpintero.
La columna dórica presentaba, generalmente, veinte estrías verticales (18 grados de ángulos centrales), cuyas canaladuras se encontraban en aristas vivas, de manera que en cada cuarto del círculo, de su sección transversal, se trazaban cuatro canaladuras completas y dos mitades que coincidían con los ejes ortogonales de dicho círculo. Estas canaladuras de evolucionaron haciéndose cada vez más profundas, sin perder su arista, y su trazado y labra requería un cuidadoso trabajo, ya que el diámetro del tambor variaba con la altura. Por ello aunque su origen se quiera ver en el trabajo de la azuela, hay que apreciarlo como propio de la construcción en piedra a buscarlo más profundamente. Recordemos que ya Imhótep, 2.700 años a.c. utilizó la columna estriada en piedra, en Saqqara para el complejo funerario de Zoser."[ORTEGA, LA CONSTRUCCIÓN EN GRECIA III, 1993]







Coronación de templo primitivo evolucionado.



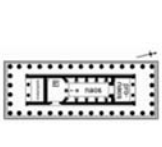
Reconstrucción templo primitivo en madera (Roland Martin - Esselborn).

TEMPLO DE APOLO EN BASSAI. Ictino. 430 - 400 a.C.

Materia y transporte.

"Ya en el siglo VII a.C., bloques tallados de piedra caliza, fácilmente manejable se usaban en los edificios monumentales y durante el siglo VI Atenas había empezado a importar mármol blanco de excelente calidad de las islas de Paros y Naxos" (con cristales transparentes, que conservaba el color a lo largo del tiempo) "para su uso tanto en construcción como en escultura. Durante la primera parte del siglo V, los atenienses desviaron su atención hacia fuentes de material más cercanas y comenzaron a explotar las canteras ricas en mármol del monte Pentélico." (Situadas a 15 km al noreste de Atenas, su mármol se diferencia de otros tipos que se pueden encontrar en Grecia por su ligera tintura de hierro, que al estar expuesto al aire produce la pátina dorada presente en el Partenón. Sus cantos afilados y su superficie permiten obtener unas juntas perfectamente ajustadas.) "Estas nuevas canteras se convirtieron en el recurso principal para la construcción en piedra de los edificios religiosos y públicos de Atenas, y su piedra se exportó también abundantemente."





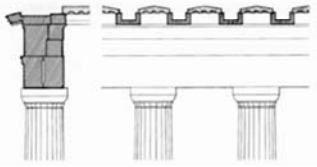


Vigas de cubrición.

"Al incrementarse el volumen de piedra utilizada, los constructores idearon técnicas para rebajar los costes del transporte. Frecuentemente los bloques eran añuecados antes de abandonar las canteras, en especial durante el período arcaico en el que la piedra para construcción a menudo era transportada por mar desde fuentes lejanas. Un ejemplo de esta estrategia, debido probablemente a su remota localización, se encontró en el templo de Apolo de Bassai. La sección de las vigas, de mármol de Paros, del techo del templo tenía forma de U. El peso de las vigas antes del vaciado, alrededor de las 2,4 toneladas, no habría supuesto dificultades inusuales para su izado con una grúa contemporánea accionada manualmente, pero una reducción de su peso en aproximadamente un 40 por ciento habría sido ventajosa para el transporte, así como para reducir el peso propio de la carga de la viga terminada. La forma en U es además estructuralmente lógica ya que solamente se reducía el lado de la viga que soportaba la menor compresión crítica: la viga permanece sin disminución en el lado sometido a la tracción crítica. En realidad, el hecho de que tanto las vigas como los sillares de piedra estuvieran añuecados de esta manera sugiere que los arquitectos se percataron de que la piedra en los muros de los templos estaba substancialmente







Detalle del techo en el que se muestran las vigas de mármol vaciadas. (Según Coulton).

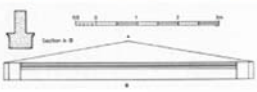
sometida a esfuerzos de compresión." [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]

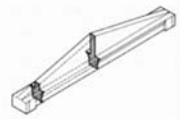
HIERON DE SAMOTRACIA. 340 - 317 a.C.

Vigas de cubrición.

"Un mecanismo estructural, que ya nos habíamos encontrado en la Puerta de los Leones de Micenas, se usó para soportar el artesonado del Hieron de Samotracia, a finales de siglo IV. El techo descansa sobre vigas que salvaban más de seis metros. Esta considerable luz se conseguía mediante el ensanchamiento en pendiente de la cara superior invisible de las vigas para así lograr un ala de forma decreciente, aumentando de manera eficaz las vigas en sus centros. " [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]







Viga de canto variable en el techo de la pronaos. (Según Coulton).



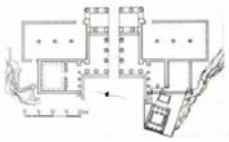
Puerta de los Leones de Micenas. s. VIII a.C.

PROPILEOS DE ATENAS. Mnesicles. 437 - 432 a.C.

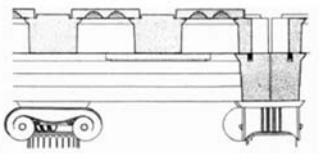
Refuerzos en vigas.

"Una técnica sorprendente que utiliza el hierro para aumentar la seguridad de los miembros estructurales de piedra se encontró en los Propileos de Atenas. [...]. El techo de mármol está soportado por una serie de vigas que descansan de forma alternativa en arquitrabes jónicos. Aquellas vigas que coinciden con las columnas situadas por debajo del arquitrabe sólo transmiten fuerzas de arriba a abajo, provocando compresión; pero aquellas otras situadas en la mitad de la luz del arquitrabe producen una flexión significativa y tracción asociada. Para reducir esta flexión -mediante la transmisión de las cargas desde el centro de los arquitrabes hacia las columnas portantes - se colocaban **barras de hierro** dentro de las caras superiores de los arquitrabes, con una hendidura de 2,5 cm de profundidad practicada por debajo de las barras para permitir que sus centros se curvasen bajo la carga sin entrar en contacto con el arquitrabe. En realidad las barras de hierro actúan como "vigas de descarga" independientes. Sin embargo, no debería entenderse que el comportamiento de estas barras se parece en algo al de las armaduras del hormigón actual. Las modernas armaduras de acero no experimentan una flexión significativa: más bien funcionan absorbiendo la tracción directa que actúa sobre la viga, y, por lo tanto, eximen al hormigón de tener que resistir por sí mismo esta perniciosa fuerza." [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]





Planta de los Propileos.



Barras de hierro en arquitrabes (según Coulton). Detalle.

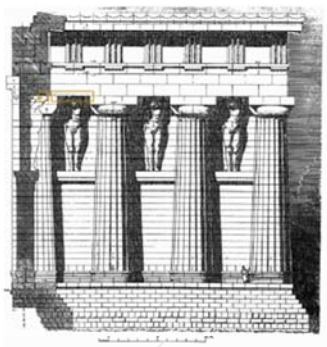
TEMPLO DE ZEUS OLIMPICO EN AKRAGAS. 500 - 460 a.C.

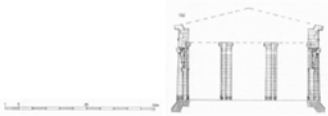
Refuerzos en vigas.

"En el gigantesco templo de Zeus Olímpico en Akragas (la actual Agrigento) se llevó a cabo una innovación estructural y el gran tamaño del edificio hizo necesaria la modificación del formato básico de templo griego. En vez de usar el intercolumnio, más o menos estandarizado, de entre dos y tres metros, la luz de los dinteles de Akragas tendría que haber sido alargada hasta los cuatro metros completos. El arquitecto compensó esta gran luz mediante la inserción de grandes columnas esculpidas como figuras masculinas cuya función era la de ayudar a sostener los dinteles de piedra en sus centros. De hecho, el arquitrabe de Akragas no actúa como una viga, ya que los espacios entre las columnas y las estatuas de los atlantes están ocupados por muros de fábrica en hiladas. Pero incluso con estos muros, el arquitecto debió sentir una persistente inquietud acerca de la parte en voladizo de éstos. Como se muestra en la sección de la figura adjunta, también se colocaban barras de hierro en estas zonas (como en los Propileos de Atenas). Para resumir, en el templo de Zeus Olímpico se evitó el sistema estructural básico. Sólo la forma exterior básica de templo griego se mantuvo y adaptó a la nueva y mayor escala.

No se podía contar nunca con las vigas de mármol o piedra, que soportaban las cargas combinadas del entablamento y el techo, para salvar sin peligro grandes distancias. La debilidad inherente de la piedra a la tracción limitaba, en mayor grado que cualquier otro aspecto del diseño clásico, la serie de variantes que los arquitectos griegos pudieron idear para la forma de los templos." [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]





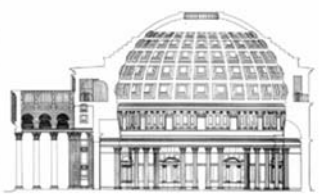


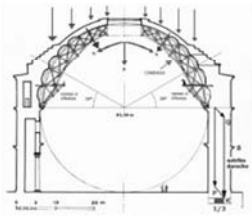
HORMIGON PUZOLANICO. s. II d.C. - s. V d.C.

"Roma y las regiones que la circundaban no estaban favorecidas, como Atenas, con canteras de mármol cercanas. Disponían comúnmente de minerales como el peperino, el travertino y una toba volcánica blanda que endurecía convenientemente cuando se exponía a la atmósfera. En las provincias se usaba el ladrillo y la piedra local, que incluían desde la caliza de color claro y grano fino del sur de Francia hasta la basta piedra laífina de color gris oscuro del Valle de Aosta. El hormigón puzolánico, usado comúnmente durante la época imperial, "curaba" o fraguaba químicamente de manera similar al cemento Portland moderno".

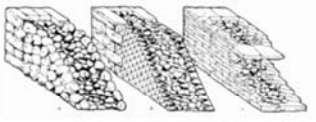
"Al contrario que los simples morteros de cal obtenidos añadiendo agua a una mezcla de cal viva y arena, los cementos compuestos de arena volcánica oscura y cal -o como el cemento Portland de hoy en día, de caliza y arcillas- o esquisto cocido en horno y más tarde pulverizado- fraguan combinándolos químicamente con agua. Estos cementos son hidráulicos. Como no necesitan secar al aire, grandes cantidades de cemento hidráulico curarán (químicamente) relativamente rápido incluso en condiciones de humedad. De este modo, el cemento puzolánico romano (llamado así por la ciudad de Pozzuoli, junto a Nápoles, donde se descubrió el uso de la ceniza volcánica en su manufactura) podía usarse tanto para construir elementos estructurales de hormigón en masa de grandes edificios como para construcciones submarinas. Las primeras fuerzas de compresión de los cementos hidráulicos son también muy superiores a las de los morteros de cal".

"Sin embargo, el hormigón romano se diferencia del moderno en que la consistencia de las mezclas para obtener este último, compuestas de agua, cemento Portland, arena y áridos finos de roca, es fluida y homogénea, permitiendo así que se pueda verter con diferentes formas. En contraste, el hormigón romano se colocaba a mano junto con trozos de árido que a menudo consistían en escombros de edificios más antiguos. El hormigón moderno obtiene también una resistencia a la tracción muy alta del acero de armado integrado, mientras que el hormigón romano, que sólo dependía de las débiles uniones de cemento para soportar la tracción, no resultaba seguro en la absorción de fuerzas de tracción importantes. Debido a que compartía la misma debilidad baja fuerzas de tracción, la construcción romana con hormigón no se diferencia en realidad





Panteón de Agripa, Roma. 118 - 128 d.C. Sección | Reconstrucción de la cimbra de la cúpula.



Revestimientos romanos del hormigón: (a) *opus incertum*; (b) *opus reticulatum*; y (c) *opus testaceum* (obsérvese el uso de las "hiladas de nivelación" en la construcción con *opus testaceum*.

de la construcción con piedra o fábrica de ladrillo. De hecho, parece que el uso de hormigón puzolánico estaba motivado principalmente por sus **ventajas económicas** en la edificación. Durante el Siglo II d.C., el hormigón puzolánico se convirtió en el material escogido para las construcciones a gran escala."

Revestimientos del hormigón.

"A diferencia de la costumbre actual, en la que se emplean formas provisionales de madera o metal para mantener el hormigón vertido hasta que endurece, para los muros romanos, así como para los pilares y las columnas, se utilizaban muy a menudo formas permanentes de ladrillo o piedra, que se clasificaban según el modelo de revestimiento usado. Los tres tipos de revestimientos más importantes eran el *opus incertum*, un revestimiento irregular de piedras pequeñas con formas variadas; el *opus reticulatum*, piedras cuadradas colocadas diagonalmente, y el *opus testaceum*, ladrillos en hilada o revestimiento cerámico. Las piedras y los ladrillos de revestimiento

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

HORMIGON PUZOLANICO. s. II d.C. - s. V d.C. (Continuación).

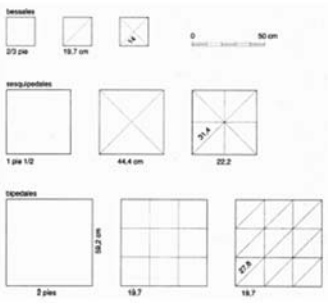
eran por lo general triangulares, sirviendo así para aumentar la superficie de contacto entre los revestimientos y el núcleo de hormigón. Presente en casi todo el mundo en las primeras construcciones de hormigón, el uso del *opus incertum* decayó en el último cuarto del siglo II a.C., aunque continuó usándose para las murallas y para las construcciones toscas. En trabajos más delicados, en su lugar, se utilizaba el *opus reticulatum*, que dió lugar a una nueva **estandarización** de bloques de piedra, así como a una gama más amplia de efectos de policromía, particularmente populares hasta el siglo II d.C.

Ya en el siglo II a.C., los ladrillos y las tejas cocidas eran usados ocasionalmente como materiales de construcción, por ejemplo en la Basílica de Pompeya (120 a.C.). Su aplicación se hizo cada vez más frecuente en el siglo I a.C., pero hasta el reinado de Nerón el uso del *opus reticulatum* no fue efectivamente suplantado por el del *opus testaceum*. El revestimiento de ladrillo fue en principio una característica de los edificios de la ciudad de Roma y sus proximidades, pero la técnica se difundió rápidamente al resto del Imperio. El ladrillo gozó de especial predilección entre los romanos debido a que podía producirse barato y rápidamente en **condiciones industriales**, logrando unidades constructivas de **tamaño y forma estandarizados**. El ladrillo romano no estaba configurado como su equivalente moderno; eran largos y cuadrangulares piezas cerámicas de un espesor habitual de unos 6 cm. Se fabricaba con tamaños estandarizados que llegaban hasta los 60 cm de lado. Cuando se cortaba a lo largo de sus diagonales, los ladrillos de mayor tamaño, conocidos como bipedales (dos pies romanos), producían cuatro ladrillos vistos triangulares. resulta interesante el hecho de que el típico espesor de la llaga romana no se mantuviera constante a través del tiempo; el estándar, de 3 cm de espesor, de la fábrica de ladrillo utilizado en la capital aumentó hasta los 4 cm al principio del siglo II; durante el comienzo del siglo IV , había crecido hasta casi los 6 cm, el espesor del propio ladrillo.

Los muros de hormigón romanos incorporaban también las llamadas hiladas de nivelado: capas horizontales que se extendían de un lado al otro del muro, por lo general compuestas de grandes bipedales situados a intervalos verticales de aproximadamente medio metro. Estos estratos, que no estaban enchavetados ni por su cara inferior ni



Opus testaceum y opus reticulatum en restos de muros romanos.



Partición de ladrillos romanos cuadrados de medidas contantes.

por su cara inferior ni por la superior en el núcleo de hormigón, creaban planos de "escisión potencial...un tipo de debilidad" (Ward- Perkins)que podría haber resultado problemática, si bien no para la masa total del propio muro. Además de proporcionar una superficie uniforme al final de cada etapa de la construcción del muro, las piezas insertas de este tipo pudieron tener dos roles estructurales principales: en primer lugar, actuar como cubrición para el hormigón que se acababa de colocar durante la construcción, ayudando a que no se deshidratase demasiado rápido y se malformase, y, en segundo lugar, proporcionar deliberados "planos de debilidad" (similares a las actuales juntas de dilatación) que podían absorber las deformaciones estructurales asociadas con las potentes cargas inducidas térmicamente, y de este modo prevenir el agrietamiento no plano en zonas del muro alejadas de los estratos de ladrillo insertados." [MARK, TECNOLOGÍA AR- QUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS. TEATRO DE ITALICA.

"A lo largo de todo el territorio ocupado por el Imperio romano se han recogido numerosos datos que reflejan un panorama muy diverso según los casos y que, si bien demuestran la preferencia por determinadas prácticas, no permiten afirmar que unas normas generales rigieron el trabajo ya fuera en canteras, edificios en construcción o talleres. A pesar de esta diversidad y, para ilustrar el presente trabajo, incluimos algunas piezas procedentes del teatro de Itálica. Se trata de un edificio del que se ha conservado un importante número de elementos constructivos, muchos de los cuales, por no haber sido aún integrados en su restauración, permiten ser analizados de forma detallada.

Entre las diversas marcas identificadas sobre las piezas se han distinguido tres grandes grupos según la fase de los trabajos a la que se asocien: fabricación, transporte y ensamblaje. No obstante, también su naturaleza sugiere una triple clasificación, pudiendo combinarse ambas:

- Líneas guía en los bloques, para auxiliar en la realización de las piezas, o en éstas ya semielaboradas para dar las pautas a su futura decoración.
- Oquedades de diversa morfología: mortajas de grapas, espigas para pernos metálicos, canales de evacuación del metal sobrante, etc. Suelen estar asociadas al ensamblaje y unión de las piezas entre sí en su ubicación definitiva, sin embargo, en ocasiones, también pudieron ser útiles en la fase previa de transporte y elevación.
- Letras y/o signos incisos. Pueden responder a diversas fases de la elaboración de las piezas: de cantero, de almacenaje, indicador de posición en el edificio, etc.

Extracción. Trabajo en cantera.

El grado de elaboración dado a las piezas en la cantera era diverso, dependiendo del tipo de pieza, la cantera y el material. No obstante, se tendió a un equilibrio entre la eliminación máxima de piedra superflua y la garantía de consevación de las piezas hasta su destino. Una vez que bloques y/o piezas estaban preparados para su exportación podían inscribirse o pintarse sobre ellos diversas marcas, ya fueran de cantera o relacionadas con su punto de destino.

Elaboración de las piezas.

Pensabene (1972) señala cómo se constata la elaboración total de piezas para su exportación en época bizantina, mientras que anteriormente, a excepción de fustes y sarcófagos, aparecían tan solo semielaboradas. Los elementos arquitectónicos estaban directamente vinculados al diseño unitario del edificio para el que se

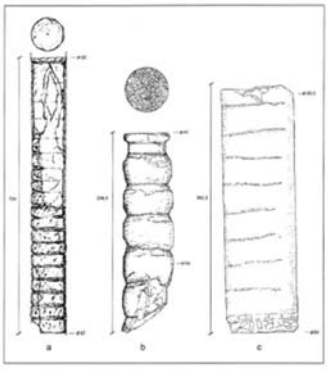


Figura 5.—Ejemplos de fustes inacabados del templo tetrástilo de Thignica (a), el Foro de los Cuatro Lictores de Cuicul (b) y el pórtico del Coliseo (c): en su superficie se han podido observar una serie de acabados para favorecer su realización. (Bingöl-Yeroulanou, 1998, fig. 12 ; 1985, fig. 323 y 1982, fig. 10. Escalas diversas)

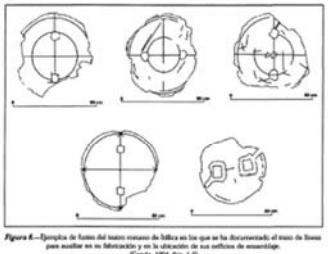


Figura 6.—Ejemplos de fustes del teatro romano de Itálica en los que se ha documentado el trazo de líneas para auxiliar en su fabricación y en la ubicación de sus orificios de ensamblaje. (Conde, 1994, figs. 1-4)

destinaban. P. Pensabene ha sistemati- zado el proceso de fabricación en tres fases fundamentales:

1. Esbozado previo del bloque de mármol elegido definiendo a grandes rasgos su forma.
2. Ubicación del esquema ornamental de la pieza, una vez establecidos sus volúmenes.
3. Acabado de la pieza, generalmente en el lugar de destino, mediante la ejecución de sus detalles decorativos.

Los procesos de fabricación no fueran los mismos para todas las piezas. En el caso de los fustes, éstos salían de las canteras con un mayor acabado que basas y capiteles. La razón debe buscarse en que, con menor trabajo y menos cualificado, podían adquirir una forma cilíndrica aproximada a la que debían presentar en su

Paula Jolén Caparrós. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS. TEATRO DE ITALICA. (Continuación).

estado final, muchas veces incluso ya en el propio frente de cantera. Durante el proceso de ejecución podían realizarse también una serie de anillos horizontales a lo largo del fuste a distancias determinadas. Tendrían aproximadamente 3 mm de profundidad y unos 2 cm de anchura. A continuación se trabajaba la superficie rugosa del fuste entre los surcos horizontales anteriores con la ayuda de una gradina hasta alcanzar la profundidad de aquellos, que así desaparecían. Tal y como señala Pensabene, la profundidad de estos anillos habría marcado el perfil de contractura que debían ofrecer los fustes.

En el caso de los fustes realizados por medio de tambores, es de suponer su factura en su lugar de ubicación definitiva, a fin de hacer coincidir a la perfección entre todas las piezas las acanaladuras de su superficie.

No obstante, hay que tener en cuenta que cada taller y/o cantera tendría sus propios métodos. Se emplearían diversos patrones para determinar el perfil de los fustes, incluyendo sus medidas, contractura, etc. En las canteras del Imperio se había llegado a tal grado de estandarización en la producción que permitía un cálculo automático de las dimensiones del diámetro menor del fuste y de sus proyecciones en imoscapo y sumoscapo. Como señala Dodge siguiendo a Ward Perkins, la sistematización mortológica en la fabricación de fustes, dándoles unas medidas que les permitieran la fácil comercialización, hizo también más eficaz y rentable el trabajo de cantera.

Para poder llegar a la uniformidad de las piezas dentro de un mismo programa decorativo, se seguían reglas geométricas estrictas que regían las relaciones de proporción entre las diferentes partes constituyentes de los capiteles. No obstante, su carácter artesanal y la diversidad de operarios hace que existan múltiples variaciones entre las piezas. Es muy posible, especialmente para los capiteles decorativos de lesena, que existieran cartones a modo de catálogos con los diversos modelos.

Oquedades para transporte, elevación y ensamblaje.

Muchas piezas ofrecen orificios para posibilitar y facilitar su transporte; son de cantera, de oficina o de obra.

El transporte era lo que más encarecía los costes de los elementos arquitectónicos.

Por ello, en la medida de lo posible, se buscaban puntos de extracción lo más cercanos posible a vías de distribución, prefiriéndose las marítimas y fluviales, dado el peso de los materiales a transportar.

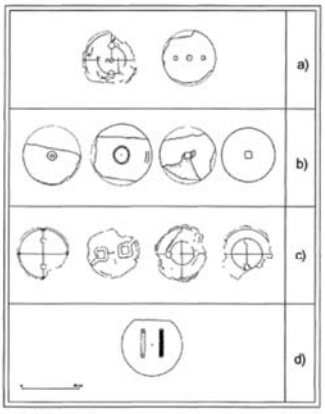


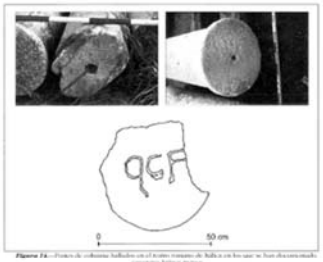
Figura 13.—Tabla en la que se han tratado de sistematizar las diversas variantes de cortaduras documentadas en los fustes hallados en el teatro romano de Itálica

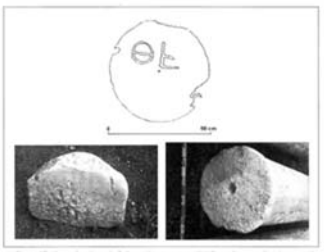


Figura 12.—Basa del orden inferior de la scaenae frons del teatro romano de Itálica con orificio central para asegurar la unión con su fuste correspondiente

FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS. TEATRO DE ITALICA. (Continuación).

Anconeri: espigas sobresalientes para elevar los bloques. Se ubicaban de forma simétrica en las piezas. En ocasiones se eliminaban una vez colocadas en su lugar definitivo.
Oquedad para *castañuela*: se encuentra en el centro de gravedad del bloque y su sección es de paredes inclinadas. La castañuela estaba formada por tres piezas metálicas, las laterales de perfil oblicuo y la central recta, que, al unirse, adoptaban forma de cola de milano. Este sistema tenía toda una serie de ventajas: permitía elevar mayor peso, la preparación de los bloques era más rápida y fácil, y no había que eliminar marcas una vez colocados ya que, en la mayor parte de las ocasiones, quedaban ocultas.
Cavidades para *ferrei forfices*: eran simétricas y se situaban en las paredes verticales de la pieza. Con este instrumento metálico, a modo de pinzas, cuyos garfios se aseguraban en las cilindas oquedades, se elevaban las piezas. A pesar de su eficacia, tan solo permitían levantar las de igual o menor tamaño a la abertura máxima de las tenazas.
Para auxiliar en la elevación de las piezas se utilizaron principalmente la polea (trochlea, orbiculus) y el torno de mano (sucula).
Para asegurar la unión perfecta y duradero entre los diferentes elementos de una construcción en ocasiones se hizo uso de grapas (metálicas o de madera), pernos y espigas.
Huellas de grapas: en forma de doble dolo de milano, rectas, en forma de doble T y en pi.
Orificio para espiga metálica: serían fundamentales las uniones verticales, como en el caso de las columnas. Lo más frecuente era insertar primero una espiga metálica en la pieza superior en la que ya se había realizado previamente un orificio a tal efecto. A continuación se introducía en la cavidad correspondiente de la pieza inferior en la que se había vertido metal fundido. Es frecuente encontrar canales que comunican los orificios con el exterior, cuya función era la de evacuar el metal líquido sobrante.
En las **basas** del conjunto estudiado tan solo se documenta una oquedad cuadrada central. Alojaría la espiga metálica que a su vez había sido previamente introducida en el fuste de columna situado sobre ella.
En lo que respecta a los **fustes** conviene sistematizar las diversas variantes: un orificio circular central y dos cuadrados laterales, un orificio central, dos orificios simétricos, o dos cavidades simetricas rectangulares de escasa profundidad (2 cm aproximadamente) en la superficie del sumoscapo (conservan restos de grapas metálicas en pi).
En los **capiteles** lo más frecuente será encontrar oquedades en su base para





facilitar y asegurar su unión al sumoscapo de su fuste correspondiente. Se han documentado orificios centrales, dos simétricos de forma cuadrangular.

Talleres y escuelas.

Señala P Pensabene la dificultad para poder precisar la existencia de talleres itinerantes, si bien contamos con ejemplos documentados como pueden ser algunos de los dependientes de Afrodisias. Aquellos procedían de escuelas creadas, o bien en las propias canteras, propiciadas por las características de un material determinado, o bien en los centros de más intensa y continuada actividad edilicia. Se trasladarían a los lugares donde un nuevo edificio o todo un nuevo programa monumentalizador precisara de sus servicios. No será fácil aislar los elementos estilísticos que puedan con seguridad identificar a una escuela determinada. Esto se debe principalmente al influjo que sobre ella ejercían las tradiciones locales así como el uso de modelos de diversa procedencia.

Letras y signos.

Han podido documentarse tanto sobre bloques de piedra en bruto como sobre elementos arquitectónicos semielaborados o incluso finalizados, toda una serie de incisiones asociadas a la actividad desarrollada por estos operarios, dentro de las diversas

Paula Jolén Capanés. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS. TEATRO DE ITALICA. (Continuación).

fases de trabajo en las que intervenían.
Estas inscripciones, que pueden ser halladas tanto en los lugares de extracción como en los de destino, aportan una muy valiosa información. En ellas puede figurar:
1. Número de orden del bloque
2. Número del *locus* o *bracchium*, es decir, el sector de extracción.
3. Nombre del responsable de la *caesura*.
4. Nombre de la oficina de producción.
5. Datación consular (año de producción).
6. Referencia a la *tarla urbica* (administración central).
7. Nombre del *curator*, funcionario administrativo encargado del registro.
Las fórmulas variaban según las canteras, de igual forma que no en todas ellas se emplearon, a ello debe unirse el que se hayan conservado en un muy escaso porcentaje, ya que en muchos casos se habrían realizado con minio y, por tanto, se eliminaban al ser trabajada la pieza.
Los bloques de piedra en bruto también habrían sido objeto de marcas en los almacenes encargados de la distribución, como puedan ser los de Roma. En ellas se hacía referencia principalmente al destino de los materiales, ya que, en la mayor parte de los casos, se trataba de partidas que debían ser embarcadas para ser transportadas por mar a otros puntos del Imperio, en ocasiones muy alejados. En el lugar de destino podían adquirir nuevas siglas para ser almacenados.
Por último, algunas de las inscripciones encontradas sobre elementos no corresponden ni a marcas de cantero ni de oficina, pudiendo tratarse de lo que J. P Adam ha denominado **índices de posicionamiento**, encargados de señalar el lugar de ubicación de cada pieza dentro del conjunto, ya que, en su gran mayoría éstas no podrían colocarse de forma aleatoria. Éstas sólo han sido localizadas en el Pont du Gard en Francia, y en las Termas de Adriano en Leptis Magna.



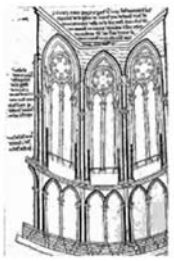
La mayor parte del texto ha sido obtenido del artículo *'Sobre tecnología romana: algunos datos en torno a la fabricación de elementos arquitectónicos'* de la profesora Oliva Rodríguez Gutierrez.

Paula Jolén Capanés. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

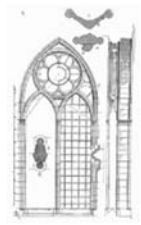
CATEDRAL DE REIMS. 1211 - 1275.

Claristorio.

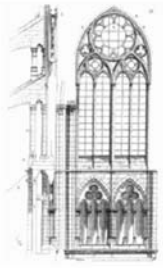
"La catedral de Reims, comenzada en 1211, se adhirió al sistema de alzado de Chartres, mediante la repetición de la composición arcada de la nave central/triforio/claristorio, pero a mayor escala. Al ser la iglesia destinada a las coronaciones de los reyes de Francia, la catedral de Reims fue dotada de una profusa decoración y ornamentación escultórica. En particular, el taller de Reims sustituyó la tracería de barras por la plana en las partes superiores de la zona del claristorio. Mientras que los rosetones más antiguos consistían en grandes entramados de piedra labrada, el primer arquitecto de Reiams, probablemente Jean d´Orbais, redefinió estas superficies de piedra como una serie de "líneas" o barras de piedra más delgadas erigidas dentro del hueco de la ventana. Este tratamiento formal señala la naturaleza no portante del muro, con las ventanas funcionando como muros cortina, suspendidas entre las pesadísimas estructuras portantes de los pilares y los arbotantes exteriores."
[MARK. TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA. 1993]



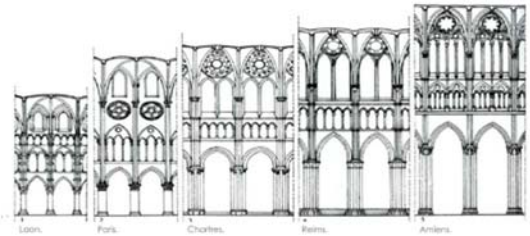
Catedral de Reims. Tracería de barra en el hemiciclo superior. Villard de Honnecourt.



Vidriera de la Catedral de Reims.



Vidriera de la Catedral de Amiens.



Laon. París. Chartres. Reims. Amiens.

Paula Jolén Capanés. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

IGLESIA DE ST ALBANS EN INGLATERRA. s. XII - XIV.

El período románico marcó el comienzo de una nueva época de compiejidad en la estructura de los muros. [...] Construidos ordinariamente de núcleos de piedra tosca con revestimientos de ladrillo o sillares, relacionados con los antiguos apeiro romanos, los muros románicos tendían a ser relativamente macizos, en estratos y articulados con vanos de cabeza redonda en todos los niveles, muy parecidos a sus predecesores romanos.
Las condiciones naturales fortuitas cercanas al emplazamiento de un edificio producían algunas veces técnicas constructivas locales. En regiones donde la geología no permitía mucha obra de piedra, la fábrica o base de hiladas era menos corriente. En algunos edificios mayores, tales como Saint-Semin de Toulouse o St Albans en Inglaterra, el ladrillo romano reciclado reemplazó a la piedra como principal material de construcción." [MARK. TECNOLOGÍA AR- QUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA. 1993].
De un pequeño asentamiento romano, la ciudad de Saint Albans, en Hertfordshire, pasó a convertirse en la más importante ciudad romana de Inglaterra. Fue conocida como Verulamium.
Cuando los romanos abandonaron la ciudad, fue ocupada por los sajones. Entonces se descubrió un santuario. Más tarde se construyó una abadía en el siglo VIII, y se dedicó a Saint Alban. A principios del siglo XI se fue forjando una ciudad alrededor de la abadía, ciudad que tomó el nombre de Saint Albans.
La torre normanda de ladrillo rojo, fue construida con materiales reciclados tomados de Verulamium.

Casos similares.

Iglesia de Saint Semin de Toulouse. s. XI.



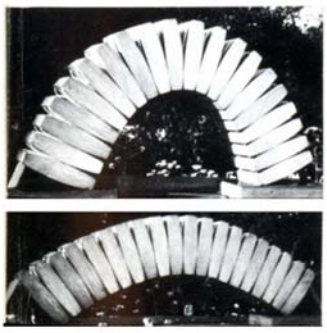
Iglesia de St Albans. Inglaterra.

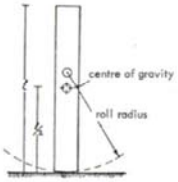


Iglesia de Saint Semin. Toulouse.

BRICK ARCH EXPERIMENT. Frei Otto, 1950 - 1951.

"In 1950 and 1951 Frei Otto developed a model to illustrate thrust lines. This arose out of the consideration, that a rod is stable only when the rod radius of its supporting surface is as large as possible, at least larger than half the length of the rod.
A thrust chain consists of chain links which roll on top of each other. The roll radius of the roll hinge is greater than half the chain lenght.
The thrust chain independently assumes the form of the most favorable thrust line which is marked off at the points of contact of the chain links. In the case of a dead weight load, the points lie on a catenary. In the case of a one-side load, e. g. a disturbance load acting at various points, the chain is deformed. It deflects under the load while the thrust line migrates against the roll region of the links, i. e. it collapses when the thrust line leaves the chain region under the influence of high excentric forces. A thrust chain of this type always works itself back into the same thrust line, regardless of how one disturbs its position.
Such a thrust chain is a highly articulated arch. It would be incorrect to think of it only as a theoretical structure. Every brick arch, employed as a supporting structure, whose mortar is weaker than the actual brick material, can be considered to have joints as in the case of the model. The joints act like roll hinges with a large roll radius." [F. OTTO, IL-10, GRIDSHELLS, 1974]



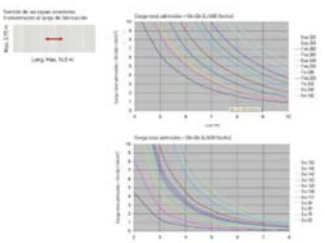


ESTUDIO DE CASOS
BRICK ARCH EXPERIMENT. Frei Otto, 1950 - 1951.
Paula Jobén Coporrós. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

KLH Massivholz | KIELSTEG Bauelement.

KLH Contralaminados.
Los tableros contralaminados (KLH) están compuestos por capas de tablas de madera de coníferas cruzadas que se encolan bajo presión para convertirse en elementos de madera maciza de gran formato. Gracias a la disposición cruzada de las láminas longitudinales y transversales, el alabeo y la contracción de la madera en la superficie del tablero se reducen a un mínimo insignificante y aumentan considerablemente la resistencia estática, así como la rigidez.
Características técnicas:
- Descripción del producto: paneles de madera maciza de gran formato constituidas por tablas contrapeadas. 3, 5, 7 o más capas según exigencia estática. Grosor de capa de 10 o 40 mm.
- Aplicación: muros de carga, forjados sanitarios, de entreplanta y cubierta. Estructura y cerramiento.
- Tipo de madera: abeto rojo y pino.
- Encolado: PUR libre de compuestos orgánicos volátiles.
- Humedad: 12% +/- 2%.
- Dimensiones:
longitud_hasta 16,50 m.
ancho_ 2,40, 2,50, 2,72 y 2,95 m.
grosor_hasta 0,50 m.



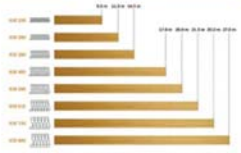


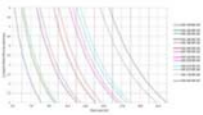
Kielsteg Bauelement.
Se trata de elementos de madera de peso ligero que se pueden utilizar para construir forjados y cubiertas de grandes luces. Tienen una estructura celular lineal: tiras de madera en las alas superior e inferior, conectadas por tableros contrachapados o de OSB en zigzag. Destaca por su aligeramiento respecto de los tableros de madera contralamonados macizos y por la posibilidad que ofrecen de utilizar las cavidades internos para el cableado y tuberías.
Características técnicas:
- Descripción del producto: Estructura celular lineal con alas superior e inferior de madera maciza, conectadas por tableros de contrachapado o de OSB en zigzag.
- Aplicación: forjados de piso y cubiertas.
- Tipo de madera: abeto.
- Encolado: MUF.
- Humedad: 12% +/- 3%.
- Dimensiones:
longitud_5 - 35 m.
ancho_ 1,20m.
grosor_22,8 - 80 cm. (Hasta 38 cm tableros de contrachapado en zigzag, a partir de 38 cm tableros de OSB).











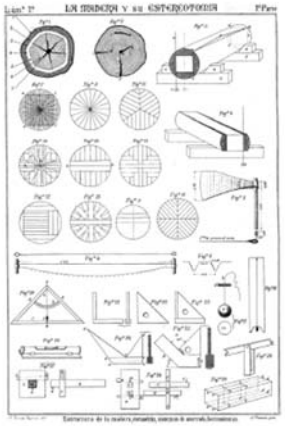
ESTUDIO DE CASOS
KLH Massivholz | KIELSTEG Bauelement
Paula Jobén Coporrós. TE_2013-09. Septiembre 2013.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

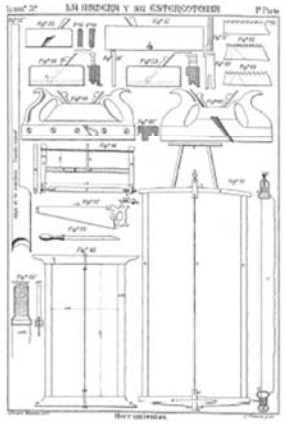
RECURSOS MADEREROS EN LA ANTIGUEDAD.

"Los carpinteros tenían también que seleccionar los árboles y supervisar el corte a mano de la madera destinada al trabajo. Fuentes helenísticas de Delos indican que la madera era prelabrado a tamaños específicos (mediante el uso de una medida normalizada, el codo) antes del transporte. Tras la tala y el labrado, la madera podía ser o bien trabajada y transportada hasta el lugar de construcción o, para reducir al máximo los costes del transporte, las cubiertas podían ser prefabricadas a escala real junto al lugar de la tala, con sus miembros marcados para el reensamblado, siendo posteriormente desmontadas y transportadas en carros o embarcaciones hasta el lugar de trabajo de los obreros en el solar para el ensamblaje final. [...]

Herramientas.
Aproximadamente en torno al 800 a.C. las herramientas comenzaron a fabricarse de hierro forjado y de acero con bajo contenido en carbono. [...] Teofrasto recomienda colocar los dientes en ángulos alternativos para evitar el serrín. Los romanos templaban el acero para conseguir la deseada dureza y capacidad de trabajo de las herramientas de corte. La amplio utilización de las hojas de filo de acero en la Edad Media nos ayuda a comprender el éxito de la carpintería de madera dura y el desarrollo técnico de las uniones complejas. [...]

Recursos madereros.
Factores tales como la disponibilidad, el transporte y la regulación forestal eran parámetros significativos con los cuales operaban los patronos y los maestros artesanos. [...] Los recursos forestales pueden ser descritos, en términos generales, geográficamente, y por tanto climatológicamente, distinguiendo entre la ecología de la cuenca mediterránea y la del Norte de Europa. Extensos bosques de pinos y coníferas abundaban en las civilizaciones greco-romanas al Sur de los Alpes, mientras que el roble, idóneo para la construcción, predominaba al Norte de los Alpes y en las Islas Británicas. En el documento incompleto de la isla de Delos (puerto cosmopolita de comercio marítimo en la Antigüedad) aparecen inscripciones procedentes de carpinteros que revelan presupuestos y costes de la madera, y que nos da una idea de las dimensiones de la madera usada en construcción. [...]
Aunque la protección mundial del medio ambiente y la ecología científica son progresos modernos, documentos de este período indican que en la Edad Media los bosques eran muy respetados y estaban legalmente protegidos no





ESTUDIO DE CASOS
RECURSOS MADEREROS EN LA ANTIGUEDAD
Paula Jobén Coporrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

RECURSOS MADEREROS EN LA ANTIGUEDAD. [Continuación].

sólo como cotos de caza para la nobleza, sino también como recursos muy apreciados que proporcionaban madera. Incluso durante las grandes demandas de madera para las guerras napoleónicas, cuando se talo el mayor número registrado de árboles de las principales reservas, no hubo, a pesar de todo, una grave escasez en Gran Bretaña que pusiera en peligro la regeneración de los bosques por si mismos en una generación aproximadamente.
La interrelación entre los recursos forestales y las verdaderas formas de la construcción con madera se reflejan, también, en la evolución general. Mediante la reducción o la eliminación de las series de montantes de carga de la nave central, por ejemplo, los árboles de menor longitud y sección, que eran más fáciles y rápidos de talar y transportar, podían utilizarse para las cerchas de cubierta. De hecho, la escasez de madera larga y recta queda subrayada por las abundantes evidencias de su reutilización tras el 1200 aproximadamente. [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]

ESTUDIO DE CASOS
RECURSOS MADEREROS EN LA ANTIGUEDAD
Paula Jobén Coporrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

DENDROCRONOLOGIA.

"Método de datación basado en la medición detallada de la variación de la anchura y del carácter del dibujo de los anillos de crecimiento anuales de un amplio muestrario de árboles de una región dada. Ya que estos anillos de crecimiento de los árboles reflejan los cambios estacionales, sólo los de las regiones templadas y áridas tienen anillos anuales. Debido a la longevidad del roble y a que su albura externa es fácilmente distinguible, proporciona muestras ideales para su estudio, aunque también algunas coníferas han sido datadas con éxito. Como en cualquier método basado en la estadística, el número de muestras datadas con fiabilidad y la cantidad de datos de anchura de los anillos existentes en los archivos aumenta la facilidad con la que se puede establecer una comparación con una cronología de referencia, así como su fiabilidad. Las diferencias climáticas obligan a que las cronologías de referencia se establezcan para regiones particulares; normalmente se toman alrededor de una docena de muestras del núcleo de la madera para datar cada fase de construcción cuando se utiliza este tipo de cronología para datar un edificio de la región.

Procedimiento.

Comenzando por los árboles vivos existentes de una especie en particular, tales como el roble o el pino, se determina el promedio de muestras de la anchura de los anillos para establecer una secuencia media (es decir, una *cronología de referencia*). Las especímenes no fechadas de un mismo tipo de árbol y de la misma región se comparan entonces anillo por anillo con la secuencia de datación conocida. Cuando una muestra no fechada de anillos se compara con una cronología de referencia, a cada uno de ellos puede asignárseles inmediatamente un año del calendario. Y si la corteza y el último anillo de crecimiento anual se conservan, puede determinarse el año exacto en que el árbol fue cortado. Si el anillo más antiguo de una muestra no fechada precede al primer anillo de la cronología maestra, la secuencia de fechas cruzadas forma entonces un "puente" y prolonga la extensión de la cronología hacia atrás en el tiempo. La clave para establecer una cronología maestra que abarque miles de años pasa por agregar cronologías "variables" de la Antigüedad y la Prehistoria a las actuales basadas en árboles de las que se conoce la fecha en que fueron cortados. Una vez que se halla la sincronización a través de la

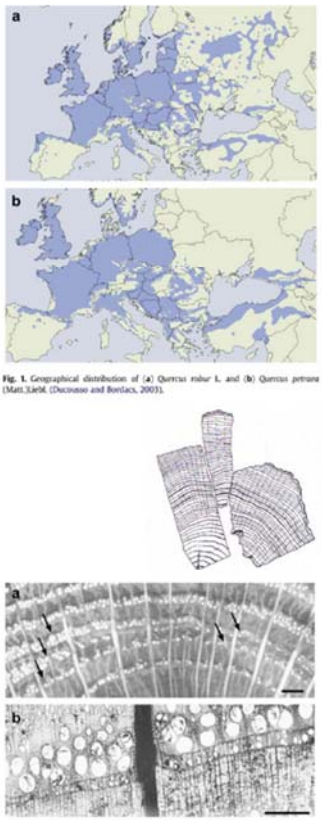


Fig. 1. Geographical distribution of (a) Quercus robur L. and (b) Quercus petraea (Matt.)Liebl. (Ducousso and Bordacs, 2003).

Fig. 2. Conspicuous wood anatomical features observed on two different oak specimens (Quercus spp.). (a) A discontinuous growth ring. (b) Growth ring with extremely small earlywood vessels. Scale bar represents 1 mm.

comparación cruzada de los anillos, pueden establecerse en tiempo real situaciones incluso prehistóricas. [...]

Cronologías maestras.

Recientemente Hollstein (1980) ha publicado una cronología maestra para el roble del norte de Europa central, que se extiende hasta el año 700 a.C. Esta es una de la muchas "cronologías maestras" europeas importantes, desarrolladas para la datación arqueológica en la última década. Posteriormente Kuniholm y Striker (1987), trabajando al sur de los Alpes, han establecido una "cronología maestra del roble del norte de Grecia" o Adriático. Con el establecimiento de un número siempre creciente de cronologías maestras regionales, el análisis de árboles ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta principal para la datación de edificios antiguos; como un producto derivado de esta búsqueda, conocemos mucho más acerca de las especies regionales de madera utilizadas en la carpintería histórica." madera usada en construcción.", [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]

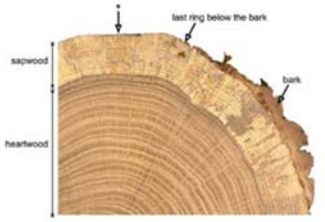


Fig. 3. Cross-section of an oak beam that contains heartwood, sapwood and bark. The tree-ring immediately below the bark coincides with the last year of wood formation, before the tree was felled. At the location marked with a * the last ring below the bark is missing. In such cases we can only estimate the date of tree felling by adding a presumed number of missing rings (in this example this is two rings).

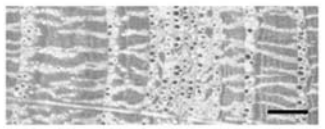


Fig. 4. An abrupt growth reduction, observed on a cross-section of a roof construction of a medieval storehouse (ca. 1365–1370 AD, Lissewege, Belgium). The particular anatomical structure might be induced by pollarding. Scale bar represents 2 mm.

HISTORIA DE LAS PLANTAS. Teofrasto. 370 - 285 a.C.

" Una de las más importantes e influyentes fuentes antiguas sobre la madera es la obra del científico y escritor helenístico *Teofrasto*, discípulo tanto de Platón como de Aristóteles que escribió un extenso tratado de botánica, *Investigación sobre las plantas*, que incluye árboles y madera para propósitos constructivos. En el quinto libro proporciona una importante información práctica recopilada de los carpinteros y leñadores antiguos, así como de los botánicos que podía conocer en la corte macedonia de Alejandro Magno. A los relatos de otros, añadió sus propias observaciones además de un sistema de clasificación, todo lo cual convierte su texto en el único documento original para el estudio de la carpintería antigua hasta finales de la Edad Media.

Para las cubiertas, Teofrasto cree que "los pinabetes y los abetos son los árboles más provechosos y con la mayor variedad de formas y su madera es...la más grande". Observa que los árboles que crecen en las laderas orientadas al norte, producen fibras mayores, más erguidas y derechas, así como madera más "resistente". Las maderas más duras disponibles proceden de varias especies de robles, que los carpinteros humedecen antes de intentar practicar agujeros, una observación que implica el uso de pasadores o escarpias para uniones de montantes y vigas. La cola también se menciona (y también aparece en inscripciones de Delos). Es poco probable que la cola se usase en las uniones estructurales mayores sin la adición de pasadores o clavos; probablemente se emplease más a menudo en la construcción de techos. Desafortunadamente, en contraste con la variedad de grapas de hierro, barras y pasadores cuyos restos se conservan, sabemos muy poco acerca de las verdaderas juntas para cubiertas que usaban los carpinteros estructurales griegos.

Teofrasto se preocupa de informar a sus lectores acerca de cuándo deben talarse los árboles, la naturaleza de sus fibras, cómo deben labrarse, etc. Significativamente, una parte de su texto está dedicada a la cuestión de la capacidad de carga: en general, el pinabete se concibe como la mejor madera para cualquier objetivo en carpintería. Se considera más fuerte debido a que no se raja con el roble o el olivo. La experiencia actual, sin embargo, demuestra que la calidad de la madera (por ejemplo, fibras rectas, ausencia de nudos y fisuras) es tan importante para determinar la resisten-

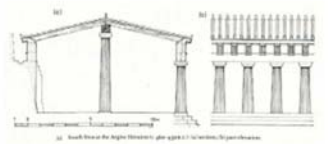


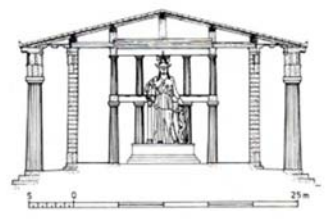
cia como la especie a la que pertenece." [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]

PARTENÓN DE ATENAS. CUBIERTA. Ictinos y Calícrates. 447 - 432 a.C.

"La carpintería estructural de las cubiertas mediterráneas antiguas estaba basada en el sistema de soportes verticales a base de montantes (*puntales* a compresión) y dinteles o travesaños horizontales o inclinados (*dinteles* a flexión). La más altamente desarrollada *cubierta griega clásica*, un sistema de piezas de madera primarias y secundarias se desarrolló para cubrir los grandes porches y las cellas internas de templos como el Partenón. Los miembros principales en tales cubiertas eran: la *pieza de cumbrera* longitudinal, que sostenía la parte más alta de la cubierta (es decir, los extremos superiores de los pares inclinados, que por lo general eran miembros de sección muy grande). La cumbrera, de forma alternativa, estaba sostenida frecuentemente por un puntal de madera vertical que se apoyaba en un dintel horizontal de gran sección (una viga portante a flexión) o en alguna clase de fábrica (tal como una columnata interior). Los dinteles de madera horizontales de un templo griego típico, estaban enmascarados por el clásico entablamento y frontón, de forma que desde el exterior, había un nivel horizontal en la base de la cubierta que se extendía desde la columnata exterior a través del pórtico de entrada. En realidad, la cubierta de madera estaba realizada mediante múltiples luces, así que la columnata exterior, interior y la de la cella, por ejemplo, servían para sostener una sucesión de dinteles. Los extremos exteriores de estos miembros horizontales estaban alojados normalmente en cajas practicadas en los bloques de cornisa, cada uno sostenido por el peristilo o por un entablamento interior de la cella. Las vigas transversales en pendiente, o pares, sostenían a las correas longitudinales, que eran paralelas a la pieza de cumbrera además de piezas de madera frecuentemente importantes: por ejemplo, las seis cajas para correas localizadas en el interior del hastial oeste del Partenón medían 94x95 cm. [...] De este modo, los muros de fábrica, columnas, hastiales, soportes para uso constructivo y las cajas en los bloques de cornisa para alojar las piezas de madera, eran accesorios importantes para la construcción de cubiertas. Por otra parte, en las cubiertas griegas clásicas los ensambleajes de la madera no eran un factor técnico importante, ya que no había miembros a tracción y las piezas de madera a compresión y flexión eran soportadas en primer lugar por fábricas y en segundo lugar por otras piezas de







madera a compresión y flexión eran soportadas en primer lugar por fábricas y en segundo lugar por otras piezas de madera utilizadas como puntales a compresión. [...]

Puesto que no había cajas de correas en el hastial este del Partenón que correspondiesen con las del hastial oeste, y ya que las correas occidentales no estaban alineadas con la columnata de la cella, resulta razonable asumir que el principal sistema de cubrición no se prolongaba sobre la cella. Por lo tanto la cella (luz 10m) debió de techarse independientemente, usando grandes vigas que se sostenían en los muros de ésta y en la columnata interior, espaciadas con el fin de alojar la gigantesca estatua de Palas Atenea. La supuesta estructura portante del límite oriental del Partenón sugerida por Stevens, consiste en una correa de caballete (que naturalmente correspondía al faldón de la cubierta occidental) sostenida por un puntal de madera y tres correas laterales adicionales a cada lado de la cumbrera, soportadaspor la columnata de la cella, el muro de ésta y el peristilo respectivamente. Cálculos modernos sugieren que el ancho de una viga de sección cuadrada necesaria para soportar la carga de la cumbrera debía ser de unos 65 cm. Ictinos

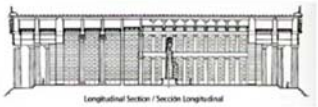
Paula Jobén Capanés. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

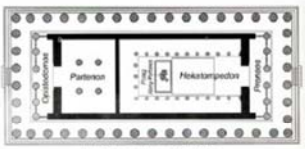
Paula Jobén Capanés. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

Paula Jobén Capanés. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

PARTENÓN DE ATENAS. CUBIERTA. Ictinos y Calícrates. 447 - 432 a.C.

y Calícrates utilizaron probablemente las piezas de madera disponibles más grandes, puesto que el enorme tamaño de las cajas para las correas del talón occidental sugiere el uso de vigas de sección muy grande en conjunto, es muy probable que se tratase de cipreses de Creta, una madera muy vallosa tanto por su coste como por su calidad. Se puede especular con la idea de que el carpintero encargado debió de reducir intencionadamente el tamaño de la pieza de cumbrera, disminuyendo así la sección transversal del puntal destinado a sostenerla, para rebajar la carga puntual en la mitad de la luz de la viga transversal central. Los constructores griegos, al menos los de Atenas, no usaban cerchas triangulares de madera. Todas las evidencias indican el continuo uso El dintel central actuaba como una estructura "autoportante" y no como un tirante a tracción. De hecho, en lo que se refiere a cubiertas, los constructores de Grecia comprendieron que una viga de escuadreo importante funcionaba bien si la carga central del puntal de cumbrera no era demasiado grande y la luz no era excesiva, es deir, sobre los 12 m. [...] La cercha no se utilizó ampliamente hasta la expansión de la arquitectetura romana en el siglo II a.C." (MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993)


Longitudinal Section / Sección Longitudinal



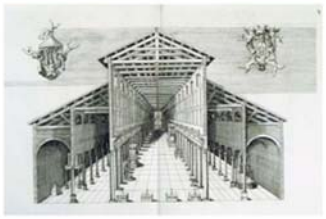
Plant Distribution / Planta de Distribución

ESTUDIO DE CASOS
PARTENON DE ATENAS. Ictinos y Calícrates. 447 - 432 a.C.
Paula Jaén Caparrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

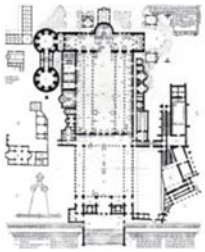
BASILICA DE SAN PABLO EXTRAMUROS. ROMA. CUBIERTA. s. IV d.C.

"La basílica de San Pablo Extramuros, cuya estructura de cubierta salvaba 24,33 metros, fue registrada por Rondelet antes de su destrucción en el desastroso incendio de julio de 1823. A partir de los dibujos y textos explicativos de Rondelet, podemos distinguir tres sistemas diferentes de cerchas de diferentes fechas. Para la cercha más antigua (que incorporó reformas realizadas en la cubierta en el 816 d.C.), construida en pino, el carpintero ideó un sistema de entramado doble usando tirantes pareados y un soporte suspendido central que actuaba como un cierre, cuya cumbrera estaba fijada mediante un perno de hierro a través de la unión de los cabios y cuya base se aseguraba mediante un pasador de madera ensartado para prevenir que el tirante pandease. Las cerchas compuestas sostenían una serie de correas y una pieza de cumbrera, que alternativamente soportaban el revestimiento exterior de la cubierta. Las cerchas estaban espaciadas según tramos de nave de 3,5 metros aproximadamente, mientras que los cabios situados en estos entramados se separaban sólo 20 cm. En comparación con la luz completa, el escuadreo de las piezas de madera mayores de la cubierta de San Pablo Extramuros parece sumamente leve, especialmente en contraste con los sistemas de montantes y dinteles de los templos griegos. Además, como observó Rondelet, la cercha doble de la basílica de San Pablo muestra los bien desarrolladas juntas a tracción necesarias para que funcionase el montante central que sostenía el punto central de los largos tirantes." (MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993)









ESTUDIO DE CASOS
BASILICA DE SAN PABLO EXTRAMUROS. ROMA. s IV d.C.
Paula Jaén Caparrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

SANTA CATALINA EN EL MONTE SINAI. Stephanos de Alla. 548 - 565 d.C.

"Este monasterio, que conmemora el supuesto lugar del milagro de la zarza ardiente y era el hogar de los hermitaños del desierto, fue fundado y fortificado bajo el reinado de Justiniano entre el 548 y el 565, y ha sobrevivido hasta hoy. La cubierta de la nave central, la cubierta completa de madera más antigua que existe, está fechada mediante inscripciones en los tirantes, que además se han datado con radiocarbono, a mediados del siglo VI. Las tallas e inscripciones de las vigas, que estaban revestidas con aplacados del siglo XVIII, nombran al constructor como Stephanos de Alla. De este modo, la cubierta era originalmente una visible estructura descubierta de madera similar a las basílicas romanas anteriores, en las que las cerchas vistas y las vigas decorativas descansaban sobre un muro de clantorio que ahora está iluminado por una serie de ventanas rectangulares. A diferencia de otras basílicas, Santa Catalina no es particularmente grande, sin duda debido al aislamiento del lugar y al hecho de que todos los materiales de construcción se importaban desde lugares lejanos.

Construcción.

La iglesia comprende una típica basílica de tres naves con una luz en la central, medida en planta desde el centro de las columnas, de 6,5 metros. La cubierta consiste en trece cerchas principales que sostienen correas longitudinales, listones y material de cubrición, que en 1384 se observó que era de plomo, pero que probablemente estaba hecho en su origen de tejas al modo romano. Pares doble (parejas de pares) se unían a un montante central colgante en la cumbrera y se ensamblaban con pasadores al tirante en su extremo exterior. Este montante central colgante, que terminaba muy por encima del nudo, soportaba tornapuntas diagonales que sostenían la sección media de los pares. La forma de la parte superior de esta cercha es notable en cuanto que el remate de la junta de los pares también sostiene una pieza de cumbrera, además, una pieza extra de madera, unida por un gran pasador también de madera, se añadió para rigidizar el soporte de la cumbrera. Estas tornapuntas (o compresión) estaban ensambladas con pasadores en la parte inferior del soporte suspendido central (que está sometido a tracción) además de empalmadas y unidas también con pasadores a piezas de madera adicionales clavadas a la superficie inferior de los pares, al parecer para evitar el tener que practicar una caja en el par principal; algo que la debilitaría.







En el techo actual, cerchas alternas poseen "correas" de metal que unen el soporte suspendido central al tirante, recreando, de este modo, el sistema portante a tracción del punto medio del tirante que se da también en la antigua basílica de San Pedro y en la de San Pablo Extramuros. No se conoce la edad de estas correas, ni si son originales del siglo VI. Debido a la luz relativamente corta y a la escasa probabilidad de problemas de flexión en los tirantes, la obra de hierro muy bien pudo colocarse al añadirse un techo en el siglo XVIII. Sin embargo, si no tenemos en cuenta la fecha de esta obra de hierro, que a menudo sigue resultando problemática en las cubiertas de madera antiguas, estas cerchas representan una forma de cubierta arquetípica: la cercha de pendolón colgante, con correas que continuó explotándose hasta la época moderna." (MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993)

ESTUDIO DE CASOS
SANTA CATALINA EN EL MONTE SINAI. 548 - 565 d.C.
Paula Jaén Caparrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

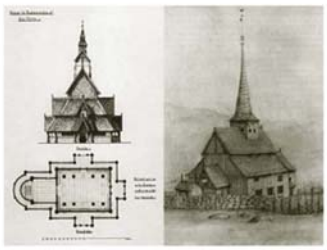
IGLESIA DE GOL. Stavkirke s. XII.

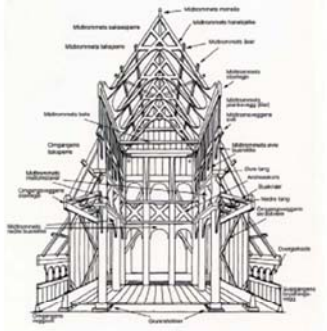
La iglesia de madera de Gol es una iglesia de madera medieval construida entre los siglos XII y XIII en el pequeño pueblo de Gol, provincia de Buskerud, en Noruega. En enero de 1884 la iglesia fue desmontada. El arquitecto encargado de los planos y el inventario había sido Thoralf Prytz. En marzo, las piezas fueron transportadas en trineo hasta la estación de ferrocarril más cercana. El transporte en tren fue gratuito y las piezas llegaron llesas hasta la estación de Bygdøy. En la reconstrucción participaron el arquitecto Waldemar Hansteen y el maestro albañil Torsten Torstensen. La iglesia quedó terminada en el verano de 1885 en el Museo del Pueblo Noruego, donde permanece en la actualidad.

Construcción.

Es una de las llamadas *stavkirke*, templos cristianos medievales construidos en el Norte de Europa cuya característica principal es su técnica de construcción, la *stavverk*, que consiste en un armazón de madera formado de *stav* —gruesos postes circulares que le dan nombre a las iglesias— sostenidos por espigas o un marco cuadrado de soleras de madera, que a su vez se halla asentado sobre cimientos de roca, protegiendo a la madera de la humedad. La técnica relaciona a las *stavkirker* con el entramado de madera, y es conífere, además de resistencia a las condiciones climáticas, estabilidad y rigidez. La *stavverk* es descendiente de las desaparecidas iglesias de postes, construcciones de técnica más sencilla, aunque en ocasiones bastante similares a las propias *stavkirke*.

La iglesia de Gol es una *stavkirke* de tipo B y del grupo de Borgund, con una estructura formada por postes internos libres que delimitan una sala central (de modo similar a las columnas de la nave de las basílicas) y sostienen el techo de ésta; la sala central está rodeada por un deambulatorio cuyo techo es más bajo. Sobre los cimientos de piedra hay cuatro gruesos vigas de madera (grunnstokker) que se cruzan entre sí y forman un rígido armazón en forma de un signo #. Cada viga se extiende entre 1 y 2 m más allá del punto de intersección. Los extremos de las vigas sostienen las soleras de los muros exteriores, formando un marco cuadrado horizontal independiente del marco cuadrado central formado por las vigas gruesas. Los postes de la sala central se colocan en el cuadro central y son los encargados de sostener el techo elevado de la sala central. En el marco horizontal exterior de soleras reposan los cuatro postes de tubulares con sus postes esquineros, que son las




Midtmønets mørstolpene
Midtmønets hanestolpene
Midtmønets takstolpene
Midtmønets bærer
Midtmønets stolpene
Midtmønets pardrager (bær)
Midtmønsruggene
Midtmønets bærer
Midtmønets takstolpene
Midtmønets stolpene
Midtmønets bærer
Midtmønets stolpene
Midtmønets takstolpene
Midtmønets stolpene
Midtmønets takstolpene
Midtmønets stolpene
Midtmønets takstolpene

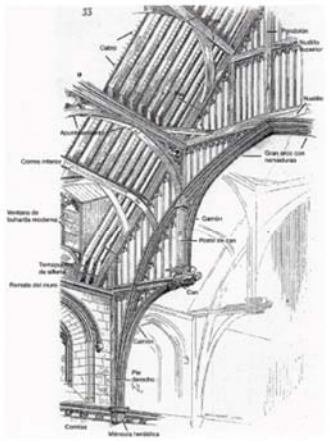
WESTMINSTER HALL. LONDRES. Hugh Herland. 1393 - 1397.

"En la progresión general de las cubiertas medievales, ninguna obra representa más claramente la integración del virtuosismo técnico en los fines iconográficos y estéticos que la cubierta, de finales del siglo XIV, de Westminster Hall en Londres. Pero resulta aún más importante el hecho de que la carpintería de este edificio presente uno de los mejores ejemplos de integración estructural longitudinal que, mediante el aumento de las correas, una pieza de cumbrera y un apuntalamiento curvado, constituye la culminación estructural de la cubierta de par de lo baja Edad Media. En este sistema, los cabios se apoyan, casi en su totalidad, en las correas longitudinales, de forma que su reacción en el remate del muro es prácticamente despreciable, tan insignificante, de hecho, como para permitir la apertura de grandes vanos para las buhardas ilustradas en el plano del tejado en el siglo XVII.

Diseñado y ejecutado por el jefe de carpinteros de Ricardo II, Hugh Herland, a finales del siglo XIV, Westminster Hall es, con mucho, el edificio más grande de este tipo. Construida en sólo tres años desde el talado de la madera hasta la erección de la estructura portante, la cubierta salva el inmenso salón normando del siglo XI que había sido construido originalmente con arcadas interiores y galerías como parte de un palacio anglonormando. Una vez eliminadas las arcadas de madera normandas, el hall tuvo una inaudita luz de casi 21 metros, rebasando en más de 6 metros el mayor hall sin división en naves de la inglatera medieval (el gran hall de Kenilworth Castle, construido entre 1389 y 1393).





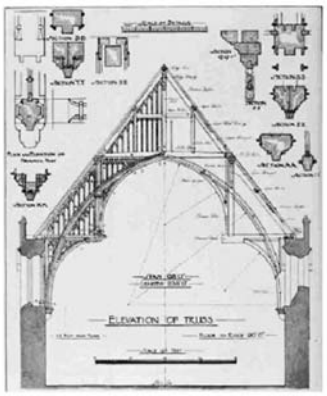


ESTUDIO DE CASOS
WESTMINSTER HALL. LONDRES. Hugh Herland. 1393 - 1397.
Paula Joán Caparrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

WESTMINSTER HALL. LONDRES. Hugh Herland. 1393 - 1397. (Continuación).

Construcción.

La cubierta consta de trece entramados principales (de roble y con un peso estimado de 600 toneladas) que dividen el salón en doce tramos a intervalos de 5.5 metros. Mientras que la escala global parece inmensa, es la insólita luz, conseguida con mucha elegancia, lo que hace único a Westminster Hall y lo que ha suscitado importantes comentarios sobre su diseño y estructura. Sin embargo, la cuestión de cómo funcionan exactamente sus complejos elementos estructurales ha permanecido sin respuesta hasta la reciente experimentación mediante un modelo, en lo que se utilizó una maqueta de madera instrumentada de menor escala e indicios arqueológicos posteriores. Este estudio reveló que los principales entramados portantes se sostienen, principalmente al nivel de la ménsula de fábrica, aproximadamente en la mitad del muro, mediante la acción combinada de los pesados postes de can y el gran arco que, aunque está compuesto de elementos ensamblados con clavija, actúa como un único elemento que transmite gran parte de la carga permanente vertical y del empuje horizontal que recibe de los postes de can y de los canes respectivamente. Los canes se utilizaban para soportar la importante tracción, en contraste con todos los otros elementos principales del entramado que actúan a compresión, restringiendo de este modo el empuje exterior en la base de los pares. Estos descubrimientos indican que Herland se propuso conducir las reacciones de esta inmensa cubierta hacia una zona más baja de los muros normandos, donde éstos pueden resistir mejor las fuerzas horizontales, de hecho, mediante la reducción del "brazo" del momento y disminuir el momento de vuelco que, si no se controla así, podría desembocar en la rotura por tracción de los muros portantes. Esta deducción se confirma en el diseño de Herland, que mediante la creación de un espacio diáfano detrás de la mitad superior del pie derecho se asegura de que no se apoyará en el muro que tiene detrás." [MARK, TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA HASTA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA, 1993]





ESTUDIO DE CASOS
WESTMINSTER HALL. LONDRES. Hugh Herland. 1393 - 1397.
Paula Joán Caparrós. TE_2014-02. Febrero 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

REVERSIBLE ARCHITECTURES IN THE PAST • RECOVERING STRATEGIES FOR A DISASSEMBLED FUTURE
RESEARCH FIELDWORK IN JAPAN.

In December 2014, and as a part of the the research being carried out in Japan within the framework of the doctoral dissertation *Reversible architectures in the past - Recovering strategies for a disassembled future*, a fieldwork was conducted. The research trip included the following key investigation sites: Shizuoka, Takayama, Shirakawa-go, Hida-Furukawa, Kyoto, Iseshi and Nara, where 10 pre-selected study cases related with wooden structures and systems with high potential of disassembly were visited. Hida no Takumi Bunkakan (Takumikan Craft Museum) in Furukawa and Hida Sangyo, a factory of wooden pieces in Takayama, were also included in this research trip.

The fieldwork was developed during 9 days, following the traditional Tokaido Route 東海道 (literally *East Sea Road*), which connects Tokyo -Edo Period Capital- to Kyoto -Heian Period Capital-, travelling along the line between the sea coast and Mount Fuji. This route was left twice, to visit Hida Region in the North of Gifu, and then Ise Jingu in the south of Ise Bay. Local trains were used as the lowest cost option for transportation through *Seishun jûhachi kippu*.

This document aims to bring together the information gathered on site during this fieldwork for each of the cases. Descriptions, original photographs and sketches made on site have been included. Also explanations taken from referenced publications when it was considered that they could help for a better understanding of the case.

Pre-selected study cases >
• visited case [v]

Worship - buddhist temples
• 101 Horyuji (oldest)_587-607). [v]
102 Yakushiji (Nara).
• 103 Kofukuji.
• 104 Todaiji (Great Buddha Style).[v]
105 Jodo of Shofukuji.
106 Chuson (Japanese Style).
107 Golden Pavilion Kinkakuji.
• 108 Silver Pavilion Ginkakuji.[v]

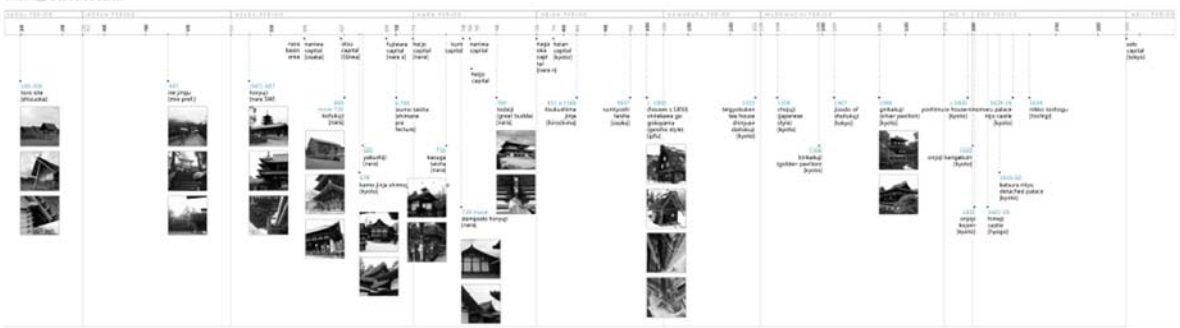
Worship - shinto shrines
• 201 Ise Shrine (Mie Prefecture).[v]
202 Izumo Shrine (Hikawa District).
203 Sumiyoshi Shrine (Osaka City).
• 204 Kamo Mioya Shrine and Kamowakeikazuchi Shrine (Kyoto).[v]
• 205 Kasuga Shrine (Nara).[v]
206 Itsukushima Shrine (Hiroshima).
207 Nikko Toshogu.

Residential
• 301 Yagoi community in Tono shi (Shizuoka Prefecture).[v]
• 302 Dempodo Horyuji Temple (Nara).[v]
303 Hijo castle Ninomaru Palace (Kyoto).
304 Homdaeny Ohjoji, Kojoin and Kangakuin (Kyoto).
305 Katsura Detached Palace (Kyoto).
306 Yoshimura House (Hadakima City, Osaka).
307 Himeji Castle (Hyogo - Prefecture).
• 308 Shirakawa-go.[v]

Entertainment
401 Teigyokuteien, Shinjuan subtemmple, Daifukuji (Kyoto).



Timeline_pre-selected cases.



RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
INTRODUCTION
PhD Candidate. Paula Joán Caparrós. TE_2015-02. February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

YAYOI COMMUNITY IN TORO SITE. SHIZUOKA. 100 - 300 a.D.

12-10th [Wed.]
7:08 -JR Tokyo > Shizuoka



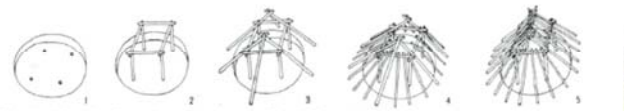


"The earliest type of house about which there are some information is the pit dwelling (*tatebana jukyo*). The Yayoi period brought with it wet-rice cultivation and the sophisticated use of iron tools, which in turn prompted advances in building techniques and the development of a second type of prehistoric building that was elevated on posts. The best example of a Yayoi community is Toro in Shizuoka Prefecture, where one can see the Yayoi pit dwelling and elevated storehouse in reconstruction. The settlement probably contained about twenty structures originally. [1]

Construction.

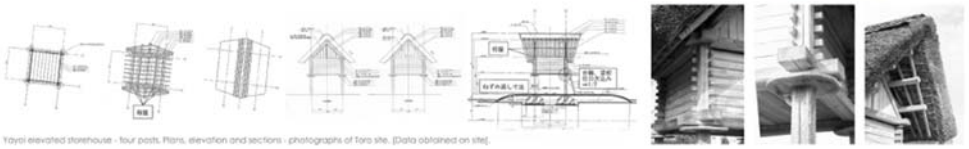
The Toro pit dwellings consisted of a six-by-eight meter oval living area. A double skirting wall thirty centimeters high was first built around it and the space in between the walls filled to the top with earth. Though it was therefore not a pit dwelling *per se*, since the floor was on the level of the ground outside, the basic idea of a sunken living area was the same. The dwelling was then constructed over this foundation with four posts sunk in the ground, beams connecting them at the top, and rafters radiating from those beams to the ground, forming the structure's periphery. The roof was thatched with miscanthus or some other grass, and a hearth was sunk in the earth floor inside.

Elevated storehouses were raised off the ground by posts to protect the contents from pests. Wooden discs or "rat guards" (*nezumigaeshi*) were placed at the top of the posts and the entrance ladder to provide additional security from rodents. The ladder was carved of a single piece of wood rather than assembled with individual rungs. Archaeological evidence suggests that these storehouses were built of planks that overlapped at the corners. Ingenious mortise and tenon joinery methods are believed to have been used, which suggests that the builders of the period already possessed marked technical expertise and sophisticated iron tools."[1]

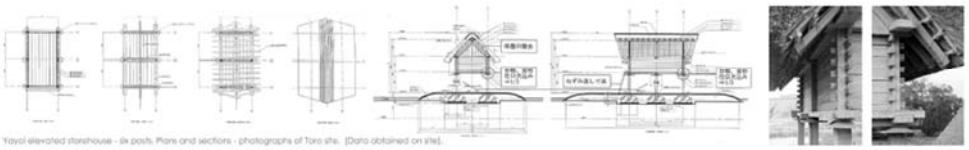




Typical Yayoi pit dwellings. Construction process - photographs of Toro site. [Data obtained on site].



Yayoi elevated storehouse - four posts. Plans, elevation and sections - photographs of Toro site. [Data obtained on site].



Yayoi elevated storehouse - six posts. Plans and sections - photographs of Toro site. [Data obtained on site].

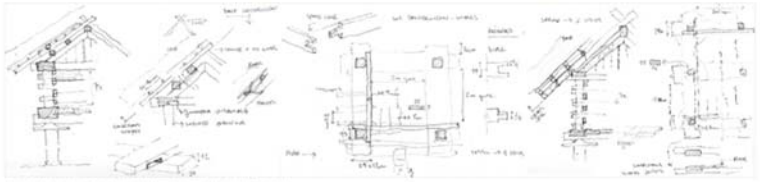
Fieldwork notes.

Joints in the main structure are achieved by modifying de edges of the wooden pieces.

Joints in the roof structure are made by tying the rafters and the smaller pieces to the roof frame with ropes - not modifying the edges of roof pieces.

Dimension of pieces in this system are adjusted to be manageable by 1 or 2 people.

The construction type is similar to "*horreos*", and other typologies found in South-Asia.



Hand notes on site - Yayoi elevated storehouses - four posts & six posts.

RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
YAYOI COMMUNITY IN TORO SITE. SHIZUOKA. JAPAN. 100 - 300 a.D.
PhD Candidate. Paula Jaén Caparrós. TE_2015-02. February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

YAYOI COMMUNITY IN TORO SITE. SHIZUOKA. 100 - 300 a.D.



Reassembly of Yayoi elevated storehouse - eight posts.

RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
YAYOI COMMUNITY IN TORO SITE. SHIZUOKA. JAPAN. 100 - 300 a.D.
PhD Candidate. Paula Jaén Caparrós. TE_2015-02. February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

SHIRAKAWA-GO, GIFU PREFECTURE. Historical Village c.1000 • Houses c.1750-1850.

12-10th [Wed.]
16:43 - JR Shizuoka > Takayama
12-12th [Fri.]
07:50 - Taka. > Shirakawa-go



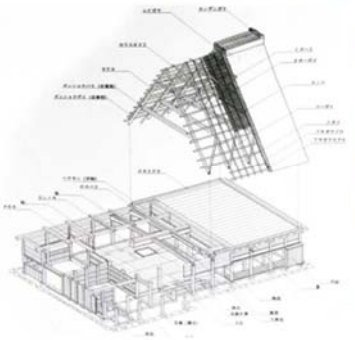




Gassho-zukuri Minka-en. Hida Shirakawa-go. [Views on site]

"The Gassho-style houses found in the villages of Ogimachi in the Shirakawa-go region, and Ainokura and Suganuma in the Gokayama region, all situated along the Sho River in Gifu and Toyama Prefectures, are rare examples of their kind in Japan. Located in a river valley surrounded by the rugged high-mountain Chubu region of central Japan, these three villages were remote and isolated, and access to the area was difficult for a long period of time. In response to the geographical and social background, a specific housing type evolved: rare examples of Gassho-style houses, a unique farmhouse style that makes use of highly rational structural systems evolved to adapt to the natural environment and site-specific social and economic circumstances in particular the cultivation of mulberry trees and the rearing of silkworms. The large houses have steeply-pitched thatched roofs and have been preserved in groups, many with their original outbuildings which permit the associated landscapes to remain intact." Ogimachi is the largest village of the three, with 152 households, including 59 Gassho-style houses. Shirakawa-go and Gokayama were registered as UNESCO World Heritage Sites in December 1995.
"Criterion (iv): The Historic Villages of Shirakawa-go and Gokayama are outstanding examples of traditional human settlements that are perfectly adapted to their environment and their social and economic raison d'être.
Criterion (v): It is of considerable significance that the suzuki structure of these villages, of which their layouts are the material manifestation, has survived despite the drastic economic changes in Japan since 1950. As a result they preserve both the spiritual and the material evidence of their long history." [UNESCO, 1995]

Construction.
Structure - in the Gassho-style houses the structure and uses are different between the first floor ("kayagumi" structure) and the attic ("ikugumi" structure). The first floor is constructed first, the attic next. The attic is two stories high, the bottom "Ama" and the top "Sora-ama".
The first floor of the Gassho-style houses are constructed by carpenters, but the assembly of the roof structure can be built by the village people by "Yui", which is a traditional cooperation system. Thick A-frame crossbeams "Chonna-bari" support the Gassho-style roofs. A tip is shaved thinly, and the lumber pieces of "Gassho-Jai" is inserted in the holes on both ends of the material at the triangular base. This is called the "join structure". It transmits the roof and the weight of the snow to the first floor efficiently, and stabilizes the house. According to the ceiling height, cross horizontal pieces are added to main crossbeams to reinforce the structure and prevent sagging due to the weight of snow that accumulates in winter.
Horizontal members "yanaka", are bound to the "sasu" at regular intervals and the rafters "taruki", are tied to these. To increase horizontal bracing diagonal lumber pieces "tsulika" and "hanegai" are added between crossbeams.
All elements that form the roof structure are joined together by two types of ropes: "hesio", made of wicker; and "kinawa", made from linden tree.
Thatched roof - the most distinctive part of the Gassho-style house is the thatched roof, constructed by "Yui", which refers to the neighboring people



Construction components of Gassho-style houses.
[Axonometric obtained in Nakano Yoshimori House at Gassho-zukuri Minka-en, Hida Shirakawa-go].











Construction of the thatched roof of Gassho-style houses. Gassho-zukuri Minka-en. Ogimachi. Shirakawa-go. Details and photographs. [Data obtained on site]







Two overlapped structures in Gassho-style houses.
Kayagumi - roof truss or framework.
Ikugumi - post and beam.
Detail 1. Basement of Hatsuiyaya Hashiman Shrine.
Detail 2. Interior of the roof of Nakano Yoshimori House.
[Data obtained at Gassho-zukuri Minka-en. Hida Shirakawa-go].

RESEARCH FIELDWORK • JAPAN • dic 2014
SHIRAKAWA-GO, GIFU PREF. Village c.1000 • Houses c.1750-1850.
PhD Candidate: Paula Joán Caparrós. TE 2015-02. February 2015.
ETSAM • Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic • Keio University • Tokyo

SHIRAKAWA-GO, GIFU PREFECTURE. Historical Village c.1000 • Houses c.1750-1850.

who volunteer their time to help construct the roofs.
First, the straw from crops is used to thatch the roof. It is usually acquired in the autumn. It is dried and used as a snow fence around the Gassho-style house. Re-thatching of the roof is done either in the spring or autumn.
The people of the village gather early in the morning and work all day long. First, scaffolding is set up and the old roof is torn off. Before the new roof is constructed, the straw from the old thatched roof is divided into good and bad straw. The good straw is reused to thatch the new roof. The old straw whose quality is still good is mixed with new straw and is used at the top of the roof.
Each side of the roof is divided into three. The re-thatching is done in three stages and constructed from the bottom to the top of the roof. The bundle of thatched straw is joined at the end, beside the roof. This process is called "hatsuji". The angle of thatched straw is linked to the eaves by "hatsuji". Only skilful craftsmen can make hatsu.
The eaves of the roof are made along "hatsuji". This part is called "ojiri". The thickness of the roof is decided by "ojiri".
Lastly, short thatched straw is used to cover the ridge, and long thatched straw is bent and wrapped over the ridge.
This is a time consuming process and must be repeated five more times. Even if it rains, it must be finished in one day. If the roof is not completed, it will become putrid or rotten.
When the work is completed, all the workers eat dinner together and heal from the fatigue of a long day work. With the existence of yui, the thatched roof can be completed in one day. [Kamihara, 2004]

Relocation.
In 1967 Kazura and Katsura settlements at the border of Gifu and Toyama prefectures, about twenty kilometers away from Shirakawa-go, were abandoned due to community relocation. Twenty six Gassho-zukuri houses [nine of them designated as important cultural properties by the prefecture] were then removed and reassembled at Shirakawa-go. A watermill, shrine and a main temple hall were also moved to this location and reassembled as they stood in the past. In Japanese "Senzaifuhei" - eternally unaltered - "It doesn't change after 1000 years". [Gassho-zukuri Minka-en, 1994]

Fieldwork notes.
Structures - *kayagumi* and *ikugumi*. Different joint species. Two different periods of maintenance.



1. Higashiya Shomatsu Storage Shed. (1899).



2. Nakano Yoshimori Storage Shed.*



3. Watermill.



4. Nakano Yoshimori House.*



5. Nakano Yoshimori House.*



6. Higashi Shino House.*



7. Asano Chuichi House.



8. Higashi-Chisho Rice Drying Shed.



9. Yamashita Haruto House.*



10. Takeda Seijiro Storage Shed.



11. Oya Fujihige Storage Shed.*

Disassembly, relocation and reassembly of 26 Gassho-zukuri houses. Gassho-zukuri Minka-en in Shirakawa-go.
* Prefecturally-designated Important Cultural Property.

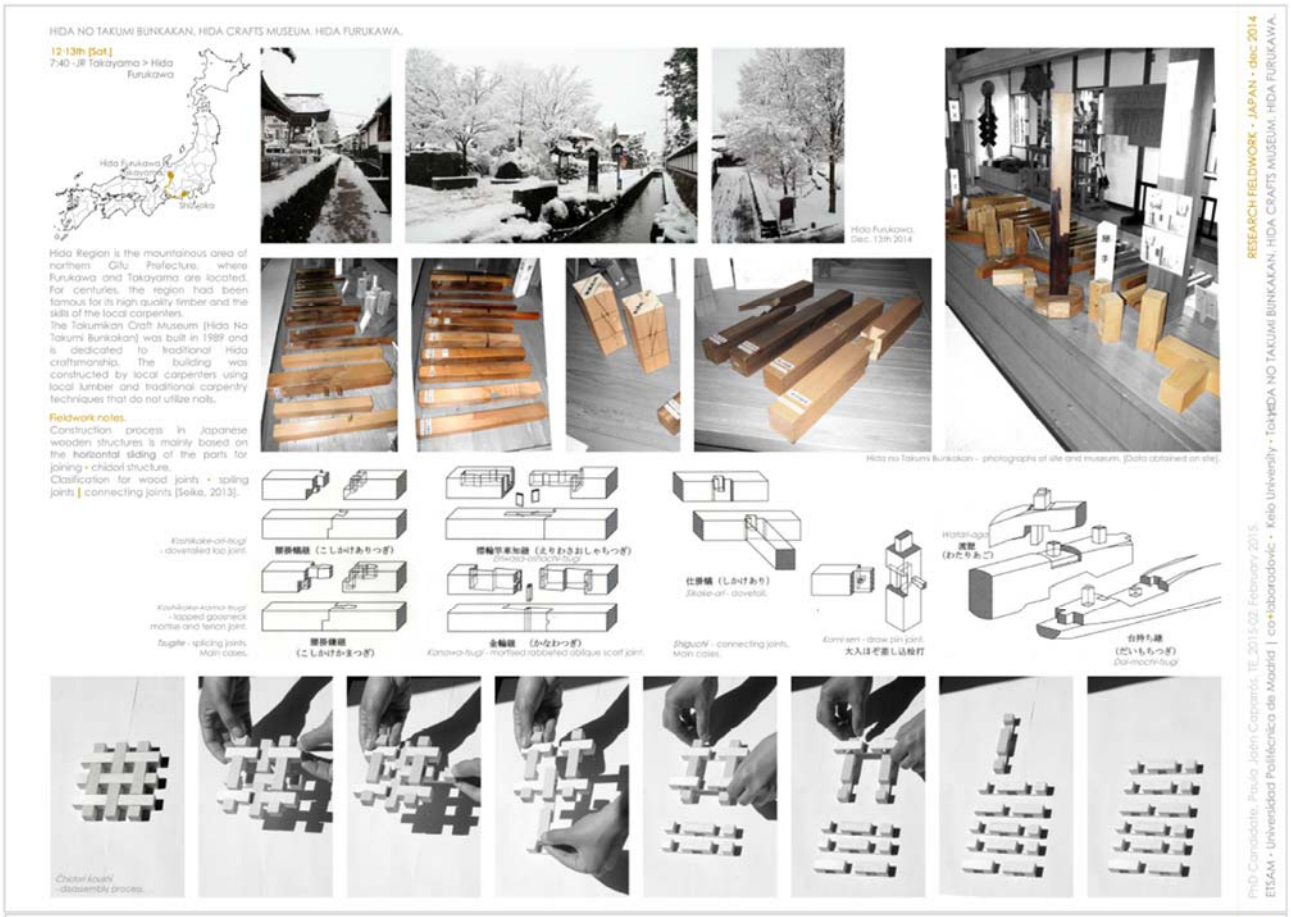






Water discharge.
Water is seen discharged over the traditional farm houses of Shirakawa-go, the UNESCO World Heritage site on November 9, 2014 in Shirakawa, Japan. This annual drill is held to prevent fire. [Photo by Koz Photography/Getty Images]

RESEARCH FIELDWORK • JAPAN • dic 2014
SHIRAKAWA-GO, GIFU PREF. Village c.1000 • Houses c.1750-1850.
PhD Candidate: Paula Joán Caparrós. TE 2015-02. February 2015.
ETSAM • Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic • Keio University • Tokyo


HIDA NO TAKUMI BUNKAKAN. HIDA CRAFTS MUSEUM. HIDA FURUKAWA.
12-13th [Sat.]
7:40 -JR Takayama > Hida Furukawa
Hida Region is the mountainous area of northern Gifu Prefecture, where Furukawa and Takayama are located. For centuries, the region had been famous for its high quality timber and the skills of the local carpenters.
The Takumikan Craft Museum (Hida No Takumi Bunkakan) was built in 1989 and is dedicated to traditional Hida craftsmanship. The building was constructed by local carpenters using local lumber and traditional carpentry techniques that do not utilize nails.
Fieldwork notes.
Construction process in Japanese wooden structures is mainly based on the horizontal sliding of the parts for joining + chidori structure.
Classification for wood joints + spiling joints | connecting joints (Seike, 2013).
Hida Furukawa, Dec. 13th 2014
Hida no Takumi Bunkakan - photographs of site and museum. (Data obtained on site).
Koshikake-ari-tsugi - dovetailed lap joint.
Koshikake-kama-tsugi - lapped gooseneck mortise and tenon joint.
Tsugite - splicing joints. Main cases.
Kanawa-tsugi - mortised rabbeted oblique scarf joint.
Shiguchi - connecting joints. Main cases.
Komi-sen - draw pin joint.
Hozo-ugai
Dai-mochi-tsugi
Chotei kouiri - disassembly process.
RESEARCH FIELDWORK + JAPAN + dec 2014
HIDA NO TAKUMI BUNKAKAN. HIDA CRAFTS MUSEUM. HIDA FURUKAWA.
PhD Candidate. Paula Joan Caparrós. TE_2015-02. February 2015.
ETSAM + Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic + Keio University + Tokyo


HORYUJI. IKAGURA. NARA PREFECTURE. 607 a.D.
12-15th [Mon.]
7:12 -JR Kyoto > Nara > Horiuji
"On the plain of Ikaruga, just outside the ancient capital of Nara, Horyuji stands in serene silence.
Horyuji's Five-story Pagoda (Goju no To) together with the Golden Hall (Kondo) next to it, the Inner Gate (Chumon), and most of the surrounding Corridor (Kairo) are the oldest surviving wooden structures in the world.
The history of Horyuji began in a.D. 587, when the Emperor Yomei, suffering from an illness, set about to construct a temple for the worship of Buddhist images. His piety proved fruitless and he died in the same year, but the Empress Suiko and her regent, Prince Shotoku, carried out his wishes and saw the temple project through to completion in 607. The Horyuji they built , however, was consumed by fire in 670, and it is the rebuilt version that stands today.
The structures are based on the Chinese bay system, a modified version of post-and-lintel construction with intricate bracketing designed to transfer the weight of the heavy tiled roof down to the massive wooden supporting columns. The exact years of the reconstruction of Horyuji remain conjectural, with some suggesting a date as late as the Nara period (710-784). But the style of the extant structures is different from most other Nara works and shows a number of features that clearly belong to the Asuka era (552-710). These include marked entasis (a slight convexity) on the columns as well as cloud-pattern bracket arms supporting the eaves. The style also incorporates a thin block plate (sarato) between the tops of the columns and the main bearing block (daito) supporting the bracketing. Also indicative of the "Asuka style" are the stylized Buddhist swastika pattern in the ornamental railings and the inverted V-shaped struts beneath them.
The four oldest Horyuji structures mentioned above incorporate these Asuka-period elements.
Though the present corridor connects the Sutra Repository (Kyozo), Belfry (Shuro), and Great Lecture Hall (Daikodo at the north of the Golden Hall and pagoda, these three structures were originally outside of what was then a perfectly rectangular enclosure."
Horyuji area was designated World Heritage Monument by UNESCO in 1993.
The Pagoda.
"The pagoda enshrines symbolic relics of the Buddha, and the golden hall houses his image. Running through the center of the pagoda from uppermost roof to base is a single massive column that rests on a foundation stone, beneath which are interred the relics which represent the bones of the historical Buddha.
The prototype of the Japanese pagoda is the Indian stupa, a hemisphere of stone and earth with an umbrella-shaped spire above , built for the same purpose of venerating the relics of the Buddha. These relics and the stupa housing them were the only monuments allowed by the early Indian Buddhist church; Buddhist anthropo morphic images did not begin to appear until centuries later. The pagodas of China and Japan are said to have developed from the Indian stupa spire.
The five stories of the Horyuji pagoda gradually decrease in size toward the top, though later pagodas show less diminution, with some seeming nearly straight from top to bottom. Indeed, the Horyuji pagoda has the most marked diminution of any extant example, giving it a sense of great stability.
Dempodo.
The Heijo Capital in its efflorescence was a place of grandeur and beauty. But today only one of its residential structures remains, the Dempodo in the East Precinct of the Horyuji temple. It was moved to the temple in 739 from the manor of a "Lady Tachibana," mother of the Empress Komyo (701-760), consort of Emperor Shomu.
The present Dempodo, which means "Hall for the Transmission of the Dharma," is seven bays long by four bays wide and ,with its tiled roof, looks little like a
1. Five-story Pagoda, Horyuji
2. Five-story Pagoda from Corridor, Horyuji
Collection of details. (Photographs obtained on site).
Nandaimon (South Main Gate). Detail. Bracket system.
Goju-no-To (Five story Pagoda). Detail.
Shuro (Bell House) - North Corridor. Detail.
Kairo (Cloister-Corridor) and Chumon (Central Gate). Detail.
Chumon (Central Gate). Detail.
RESEARCH FIELDWORK + JAPAN + dec 2014
HORYUJI. IKAGURA. NARA PREFECTURE. JAPAN. 607 a.D.
PhD Candidate. Paula Joan Caparrós. TE_2015-02. February 2015.
ETSAM + Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic + Keio University + Tokyo

HORYUJI, IKAGURA, NARA PREFECTURE. 607 a.D.

residential building. It was, of course, given the name Dempodo after it was moved to Horyuji.
The presence of a wood-plank floor, however, betrays its domestic origins, as temples of the period had floors of packed earth. Evidence obtained during a dismantling for repairs has allowed architectural historians to conjecture with relative certainty how the building originally looked.
When first built, the structure was five bays long by four wide and was roofed with cypress bark. In front stood a wide veranda. The rear three bays of the house were enclosed with walls or doors, and the front two were open, save on one side, thus effecting a gradual transition from the completely open veranda to the closed interior." [Nishi/ Hozumi, 2012]

The carpenter - *miyadaiku*.
Tsunekazu Nishioka, eldest son of Noramitsu Nishioka and grandson of chief carpenter Tsuneyoshi Nishioka, learned the traditional techniques of specialised carpenters for temples, shrines and the Imperial Court from his early childhood. He played a leading role in the repairing and rebuilding of such temples as Horyuji, Horinji, Yakushiji and others, and he was highly acclaimed as a carpenter through whom the traditional carpentry techniques of the Asuka Period (6th Century) were handed down. He is also widely known as author of many books on the architecture of wooden buildings. [Exhibition at Horyuji Info Center, 2014].

Fieldwork notes.
- The restoration of the damaged parts of the building wooden pieces that make up the temple is usually done by partial replacement of the wood of each element, leaving scars due to the intervention that can be clearly appreciated. (See photos attached).
- While talking with the staff in charge of the daily maintenance of the temple, they said: "The buildings of Horyuji area have been restored many times, but they are real, they are not false, although the material is not the original with which they were built".

[All photographs have been obtained on site].



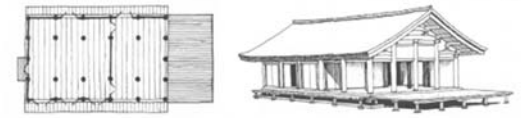
Western Precinct of Horyuji area.
From left to right - Daikodo (Great Lecture Hall), Shoro (Belfry), Kondo (Main Hall), Gojuno-To (Five Storey Pagoda).



Present Dempodo.



Dempodo (Hall of Buddhist Teachings).
Located in Eastern Precinct of Horyuji area.



Original Dempodo as reconstructed by Asano Kiyoshi. Plan, elevations and view. It was dismantled in a.D. 739 and moved to present location.

Partial replacement of wood in elements. Footprints of restorations. Western Precint of Horyuji Area. Pillars of Chumon (Central Gate) and Kairo (Cloister-Gallery).



RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
HORYUJI, IKAGURA, NARA PREFECTURE. JAPAN. 607 a.D.

PhD Candidate: Paula Joán Caparrós. TE. 2015-02. February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

ISE JINGU, ISE, MIE PREFECTURE. 447 a.D.

12 16th [Wed.]
7:57 -JR Nara > Iseshi



[For further descriptions see Annex 1]

Fieldwork notes.
- Ise Jingu was recently dismantled, and in 2013 renewed and rebuilt in traditional, unpainted cypress wood. So, in this fieldwork conducted in december 2014, all the buildings were almost new.
- The building process of the Sanctuaries starts in the forest, where Ise Jingu is place.
- For further development of research, it is pretended to do a visit to Yamada Workshop , which is in charge of the renewal of the Ise sanctuaries, during next October 2015.
- Shrine related with Izumo Taisha.



Ise Jingu Inner Shrine. Naiku. [Photographs obtained on site].



Minor Aramatsuri-no-miya Shrine. The two neighbouring building plots are clearly made out. [Photographs obtained on site]

Inner Shrine. Naiku. Location.









Bridge, Torii and Main Entrance of Inner Shrine. Naiku. [Photographs obtained on site].



Inner Shrine. Naiku. [Photographs obtained on site].

RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
ISE JINGU. ISE. MIE PREFECTURE. JAPAN. 447 a.D.

PhD Candidate: Paula Joán Caparrós. TE. 2015-02. February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

ISE JINGU. ISE, MIE PREFECTURE. 447 a.D.



Ise Jingu. Outer Shrine, Geku. The two plots are clearly identified on the right side of the photo (Photographs obtained on site).





Bridge, Tori and Main Entrance of Outer Shrine, Geku. (Photographs obtained on site).



Outer Shrine, Geku. Location.





Outer Shrine, Geku. (Photographs obtained on site).

Yamada Workshop runned by Ise Jingu. Working out, cutting and storing, renewal stages, re-using timber. (Hamilchen, 2004; Vegas & Mileto, 2007).













RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
ISE JINGU. ISE, MIE PREFECTURE. JAPAN. 447 a.D.

PhD Candidate. Paula Joén Caparrós. TE_2015-02. February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

ESTUDIO DE CASOS
SANTUARIO DE ISE. JAPON. s IV d.C.

Paula Joén Caparrós. TE_2014-11. Noviembre 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

SANTUARIO DE ISE. JAPON. s. IV d.C.

"Se trata de un conjunto denominado Ise Jingu, compuesto principalmente por el santuario interior Kotaijingu (Naiku) y el santuario exterior Toyoukedaijingu (Geku). Además, incluye 14 santuarios auxiliares (bekku), así como 109 santuarios menores. El origen de Naiku se remonta al siglo IV d.C., el santuario de Geku fue construido en el año 447 d.C. [...]

Construcción.

El santuario interior Naiku está construido fundamentalmente en madera, y sobreelevado dos metros sobre pilotes con una escalera que da acceso a una veranda corrida perimetral de 1.5 m de ancho protegida por una barandilla en torno a un recinto único de 5 x 11 m. La estructura de este espacio interior está formada por nueve troncos de madera perfectamente cilíndricos apoyados en el terreno y su cerramiento se materializa a través de un entablado extendido entre estos pilares.

La cubierta, dispuesta a dos aguas de 45° exactos y formada por un entablado de madera trasdosado de miles de haces de paja rasurados en los aleros, se apoya sobre esta estructura de nueve troncos. La cumbrera se soporta sobre otros dos troncos de grandes dimensiones (munamochiba shira) que se erigen de manera autónoma en los hastiales. Sobre la cumbrera se apoyan cruzados diez robustos leños fusiformes (katsuogi) dispuestos para evitar que el viento levante la cubierta. La altura total del conjunto desde el terreno hasta el extremo superior de los chigi alcanza los diez metros y medio. [...].

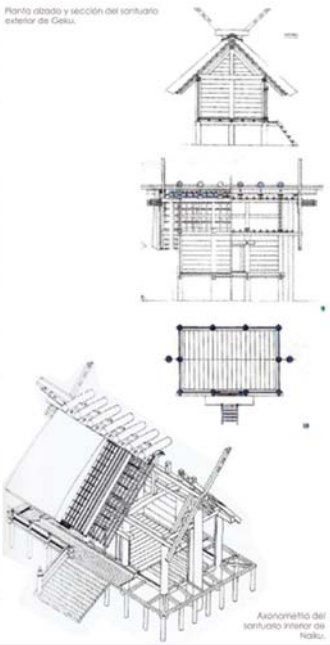
Proceso de reconstrucción.

Todos los templetes y construcciones que constituyen el Santuario de Ise poseen dos solares adyacentes idénticos entre sí. Desde el siglo VII d.C., con alguna rara excepción, este conjunto de más de cien edificios ha sido objeto de un desmantelamiento y posterior reconstrucción en sus respectivos solares adyacentes cada 20 años. Los conceptos de pureza, frescura y novedad constituyen ideas fundamentales en el shintoismo. Actualmente, el Santuario de Ise es el único complejo religioso shintoísta que continúa esta tradición de renovación constructiva, debido al alto costo de cada uno de los procesos.

En Ise, cada ceremonia de reconstrucción requiere la tala de 13.500 árboles. Históricamente, el bosque de 5.500 ha de cipreses japoneses (hinoki) que rodea al santuario ha proporcionado la madera necesaria para la reconstrucción, pero actualmente, la madera se obtiene de las montañas



Planta alzado y sección del santuario exterior de Geku.



Axonometría del santuario interior de Naiku.

ESTUDIO DE CASOS
SANTUARIO DE ISE. JAPON. s IV d.C.

Paula Joén Caparrós. TE_2014-11. Noviembre 2014.
Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

SANTUARIO DE ISE. JAPON. s. IV d.C. (Continuación).

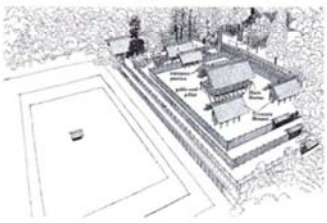
Kiso. En la última reconstrucción realizada en el año 2013 se recurrió por primera vez al ensamblaje de piezas para obtener las longitudes y escuadrías precisadas para la obra. Sólo para la reconstrucción del santuario interior Naiku se requiere la reproducción de 80.000 piezas perfectamente identificadas. En este proceso de preparación, que comienza varias décenas de años antes de la reconstrucción, empleo a dos carpinteros principales, el maestro y su discípulo; 28 carpinteros en plantilla y, en los momentos finales de auge, hasta 170 carpinteros ayudantes. En una primera ceremonia, el emperador japonés otorga el permiso para la tala de árboles de los bosques sagrados que son objeto de traslado hasta Ise, a un recinto denominado Yamada Kosaku-jo o lugar de los artesanos.

Una vez allí los troncos son sumergidos en las lagunas del entorno durante un periodo de un año para permitir que éstos expulsen completamente la savia y evitar ulteriores deformaciones o ataques de insectos xilófagos. Posteriormente, los rectos troncos de hinoki reciben un corte longitudinal por el radio hasta su centro para concentrar las eventuales deformaciones en esta fisura y pasan por un proceso de cinco años de secado. Se debe considerar que la madera se recibe en obra sin pintar, barnizar o ser objeto de ningún tratamiento químico, por lo que el proceso de curado y secado adquiere una importancia fundamental.

Transcurrido éste, cada uno de los troncos pasa a ser trabajado por los carpinteros, según su preciso destino indicado en el corte transversal. El replanteo de las piezas se realiza todavía manualmente, mientras que los cortes se efectúan con ayuda de maquinaria. Los encuentros y ensamblajes de las distintas piezas responden a los arcanos de la carpintería ancestral más refinada y requieren de una gran habilidad y maestría fuera del alcance de la tradición occidental.

Las nuevas columnas, vigas y demás piezas deben poseer exactamente las mismas dimensiones y adoptar la misma posición que sus gemelas en el templo adyacente que se demolerá. Antes de la reconstrucción, se realizan pruebas de ensamblaje en taller que se desmontan de nuevo antes de llevar a la obra, que se cubre con un caparazón temporal para velar el proceso de reerección. En la sexagésimoprimera o penúltima reconstrucción de 1993, se utilizaron por primera vez algunas puntas de hierro, mientras que en las anteriores reconstrucciones sólo se emplearon







exclusivamente pernos, puntas y tacos de madera.

Reutilización de piezas.

Sin embargo, la madera procedente de la demolición ritual de los edificios del santuario no se desperdicia. Los templetes viejos se deconstruyen sistemáticamente y sus materiales, considerados sagrados, se distribuyen a otros santuarios de la región de Ise y otras partes de Japón con el propósito de servir para la reparación, el mantenimiento consuetudinario o incluso la reconstrucción de templos dañados en incendios u otras catástrofes (ej. Santuario de Ikuta). Existe incluso una gradación

TODAIJI, NARA, NARA PREFECTURE, 760 a.D.

12-17th [Wed.]
Nara





"Todaiji, the greatest temple of the old Nara sects, had been destroyed early in the Gempei conflict in 1180. Reconstruction was begun the next year, though, by the great prelate Shunjobo Chogen (1121-1195). Chogen had made the perilous crossing to Song China a remarkable three times to bring back new Buddhist thought as well as the latest developments in Chinese culture. He thus chose a Song architectural style for the Todaiji rebuilding. Chogen was thereafter supported in his innovative choice by the equally daring shogun Yoritomo. The priest made use not only of such native carpenters as Mononobe no Tamesato and Sakurajima Kunimune, but of the Chinese sculptor and carpenter Chen Heqing, which suggests the close contact he maintained with the Continent.

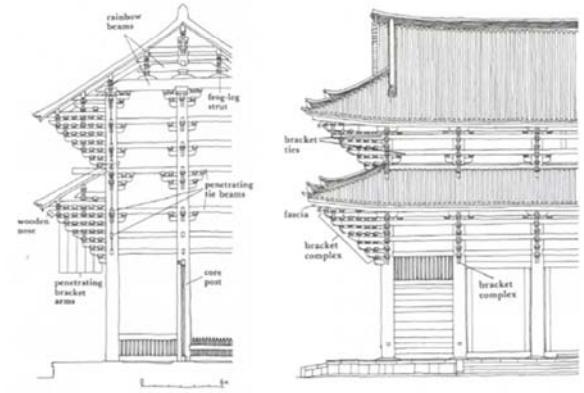
The Great South Gate (Nandaimon), through which one enters the Todaiji complex, was completed in 1199 as part of Chogen's reconstruction. Two other structures of the complex remain from Chogen's time, the Founder's Hall (Kaizando) and the worship section (naijo) of the Lotus Hall (Hokkedo), but the Great South Gate is the best example of Chogen's architectural style at Todaiji. The gate's most immediately apparent characteristic is the multiple tiers of brackets sunk directly into the great columns and stabilized primarily by lateral ties extending the entire length of the facade. The style is simple yet dignified and well suited to re building on a quick and massive scale, since many of the structural members are of the same size and thus easily massproduced.

The Great South Gate was rebuilt on the same location and plan as the original, and despite its innovative design it was perfectly in keeping with the grandiose style of its predecessor. The Great Buddha Hall was also rebuilt in the new manner and gave its name to the style as a whole. It was again burned in 1567 and rebuilt in the same style in about 1700.

Structural characteristics - as mentioned earlier, the Great South Gate of Todaiji and the Pure Land Hall of Jodoji are the two finest extant examples of the Great Buddha style. The bracketing system is arranged as follows. The bracket arms (called *sashi hijiki*) are set directly into the posts, making them quite different from the conventional brackets which were simply placed atop the posts. The posts are laterally stabilized by penetrating tie beams (*nuki*) which pierce the center of the posts. These beams provide stronger structural support than the common non-penetrating tie beams (*nageshi*), which are pinned to the posts' sides. The posts are strengthened back to front by more penetrating beams tied into the posts at the core of the structure. By and large, the brackets themselves face only front to back, and lateral arms are in general eschewed in favor of unbroken bracket ties (*tanhijiki*) that provide the necessary lateral support.

Further structural simplification is seen in the single layer of rafters that carry the roof but are masked at the ends by the fascia mentioned previously. Nor is the more complex double roof system in evidence. Economy is exercised too in the rafter placement, unique to the Great Buddha style, which is in fan pattern (*ogidzuki*) on the corners - thus providing more corner support than the parallel style (*heikodzuki*) of standard "Japanese style" roofs - but is parallel in the center of each side. As indicated earlier, the complex roof construction is visible from the interior as there is no ceiling, and the structural members thus take on an added ornamental function. The interior "rainbow" tie beams, referred to as such because they are slightly curved and tapered at the ends, have a configuration unique to the Great Buddha style, being nearly round in section and bearing a groove on the underside in the shape of a monk's staff (*shakujo*).

"Decorative" Details - the Great Buddha style uses structural members that are proportionately much thicker than those



Great South Gate, Todaiji. Cross section and elevation.



Great South Gate, Todaiji. (Photographs obtained on site).

RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
TODAIJI, NARA, NARA PREFECTURE, JAPAN, 760 a.D.
PhD Candidate: Paula Joán Caparós, TE_2015-02, February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

TODAIJI, NARA, NARA PREFECTURE, 760 a.D.

used in Zen buildings. Moreover, the Great Buddha design demands main columns that run the entire height of the structure. Obtaining the requisite lumber for the building campaign at Todaiji was a challenging process as a result, and Chogen's laborers went deep into the mountains before finding trees tall and thick enough to serve.

The Great Buddha style also uses a unique frenchcurved design at the beam tips (called *kibana* or "wooden noses") as well as in the "hag-leg" struts Paneled doors of simple design are used as well, and they are hung from large wooden hinges (*warazo*) attached to penetrating tie beams at top and bottom. Similar doors, but more ornamented, are used in Zen-style structures." [Nishi/Hozumi, 2012].

Bracketing in Buddhist Architecture.

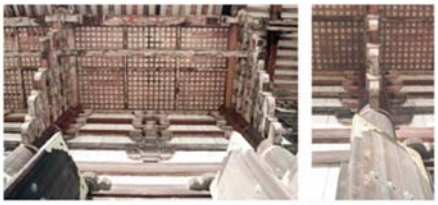
" The Buddhist temple has manifold uses - besides housing one or more images, it serves as a place for ritual and worship, and as a symbol of the Buddhist faith. To serve these purposes, it requires imposing and permanent structures. The grandeur of the temple is in large part created by the deep eave overhang of the dignified roof, and the course of bracketing that supports it beneath. The bracket system is thus one of the keys to both the structure and the ornament of the temple, and it has undergone a long series of refinements in consequence.

The bracket complex (*Kumimono or tokyo*) consists of two basic parts, the bearing block (*masu*) and the bracket arm (*hijiki; fig.48*). The bearing block is basically a square or rectangular cube beveled at the bottom (the " block tail" or *tojiri*). When set directly on a column, this component is known as a " large block" (*daito; fig.48*); on a bracket arm, it is called a "small block" (*makita; fig.49*). Bearing blocks set on corner posts have more intricate bevel carving at the block tails and are called "demon blocks" (*onito*) in consequence (fig.45).

The outward support of the bracket complex is provided by bracket arms. They too are beveled at their projecting ends, making them resemble human elbows (*hiji*) , whence comes their Japanese name "elbow wood" (*hijiki; fig.50*). When the uppermost bracket arm rests on the small blocks beneath and directly supports the purlin above without the agency of more small bearing blocks of its own, it is called a purlin-bearing bracket arm (*sane hijiki; fig.46*).

Though the bracket complexes used in the Japanese, Great Buddha, and Zen styles are all different in configuration, that of the Japanese style is the most basic, and its general characteristics apply to the other two as well. We will therefore concentrate here on the Japanese-style bracket complex. The simplest of these is the " boat-shaped bracket arm" (*kunahijiki*), which directly supports the beam above (fig.47). When it rests on a large bearing block, it is called a " large block and bracket arm" complex (*daito hijiki*; fig.48). Mounting three small blocks atop the bracket arm makes it a " flat three block" complex (*hiramitsudo* - "three blocks" fig.49). When a second bracket arm projects from this assembly perpendicular to the wall to support a rafter by means of a single bearing block, it is called a "projecting three-block" complex (*demitsudo*; fig.50). Adding to that single block a second three-block unit under a purlin creates the "projecting complex" (*degumi*) or "one-step complex" (*hitotesaki*; fig.51). A bracket complex with a second such assembly projecting a second step outward to support a second purlin is called a "two-step complex" (*futatesaki*; figs.52-53); with a third , a "three-step complex" (*mitesaki*; figs.54-57), and so on. In the case of the three-step complex, the third three-block assembly is usually supported by a "tail rafter" (*odaruki*) cantilevered out over another bracket arm beneath (figs.54-57). A comparison of the illustrated examples of the three-step bracket complex shows the refinement the design underwent over time, from the Three-story Pagoda at Yokushiji (Nara City, 730; fig.55), to the Five-story Pagoda at Daigoji (Kyoto City, 952; fig.56), to the Three-story Pagoda at Jorakuji (Shiga Prefecture, 1400; fig .57).

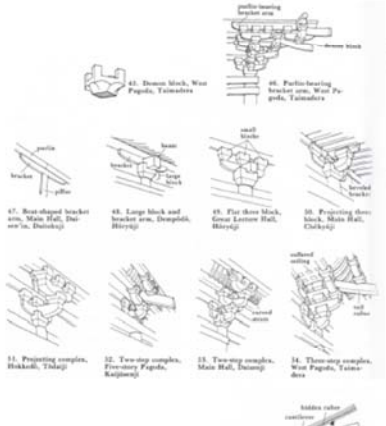
Intercolumnar Supports . Additional support for the wall purlin is provided by intercolumnar supports (*nakizonoge*) placed in the intervals between the bracket complexes that have posts supporting them. In Zen-style structures, entire bracket complexes are used in these intercolumnar spaces as well as above the posts themselves, but in other styles simpler members are used." [Nishi/Hozumi, 2012].

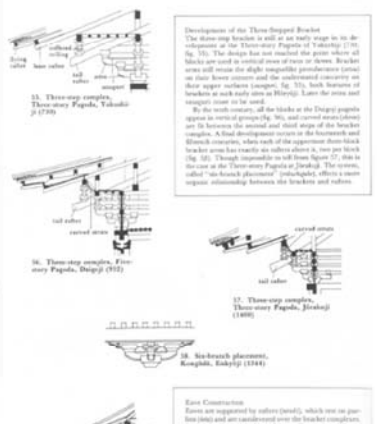


Great Buddha Hall - daibutsuden -, Todaiji. Entrance - details. (Photographs obtained on site).



Interior - details. (Photographs obtained on site).







RESEARCH FIELDWORK - JAPAN - dec 2014
TODAIJI, NARA, NARA PREFECTURE, JAPAN, 760 a.D.
PhD Candidate: Paula Joán Caparós, TE_2015-02, February 2015.
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid | co+laboradovic - Keio University - Tokyo

SISTEMAS POTENCIALMENTE DESMONTABLES DE LA ERA ACTUAL · PERIODO DESDE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL HASTA LA ACTUALIDAD.

.....

BALLOON FRAME. Atribuido a Augustine Taylor. 1833 - Present.

El método de construcción en madera denominado *balloon frame* es sin duda la primera materialización de un sistema de construcción prefabricada al regularizar la producción de viviendas en una paleta de unidades prefabricadas que podían ser montadas bajo varias configuraciones de manera rápida y asequible. El *balloon frame* es considerado frecuentemente una de las primeras formas completamente americanas de producción arquitectónica en serie. Abandonó todos los rastros persistentes de la influencia europea, celebró la abundancia de madera en los Estados Unidos, y abandonó los materiales más caros y laboriosos no disponibles con facilidad en Norteamérica. Los métodos de construcción en madera incorporados a los Estados Unidos desde Europa se caracterizaban por elaborados corpinterías que requerían artesanos expertos no disponibles en gran medida en el Nuevo Mundo.

El método se atribuye inicialmente al constructor de Chicago Augustine Taylor, que desarrolló el sistema para dar respuesta a la escasez de vivienda en la ciudad. El sistema eliminaba los antiguos vigas y conexiones cajeadas siendo reemplazadas por elementos ligeros de sección 2x4s y 2x6s colocados muy cerca una del otro espaciados aproximadamente un pie en horizontal. Los postes y travesaños se insertaban en varias configuraciones, y su número podía ampliarse o disminuir dependiendo de la integridad estructural previsto necesaria para el proyecto. Posteriormente se colocaría un revestimiento de madera sobre el entramado. Pero lo más importante era que los elementos se mantenían unidos por medio de clavos de hierro fabricados al corte, similares a los clavos comunes de acero que se fabrican hoy en día. Éstos permitían la conexión de los elementos de madera con gran facilidad y eficiencia por encima de las antiguas uniones artesanales. Toda una unidad mural podía ser entregada en un lugar y simplemente empujada para colocarse en posición vertical, lo que permitía que una casa fuera levantado en cuestión de días.

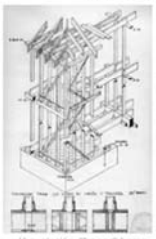
Los carpinteros que sospechaban de la aparente fragilidad del sistema de construcción lo apodaron *"balloon frame"* pensando que llegaría a "volar" bajo un fuerte viento. Sin embargo el sistema demostró tener suficiente fuerza ante tornados y otras inclemencias del tiempo con gran estabilidad. St Mary's Church, construida en 1833 en Fort Dearborn, Illinois, es considerada la primera aplicación de Taylor del balloon frame. El sistema de Taylor barrió rápidamente la industria de la construcción de Chicago y otras crecientes ciudades del medio oeste y Florida, donde sigue estando especialmente presente hoy. El sistema ha sido infinitamente reproducido, alterado y adaptado, y sigue siendo una de los sistemas más empleados para la construcción de viviendas en los Estados Unidos así como en otros países y regiones con abundantes recursos de madera como Canadá o Escandinavia.

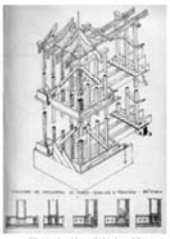






"Balloon frame"





1ª evolución- "Braced" frame. 2ª evolución - "Western" frame.

ALUMINAIRE HOUSE. Kocher & Frey. 1931.

Construcción.

El primer ensamblaje de la casa se realizó en el Grand Central Palace de Nueva York, con motivo de la 45 exposición anual de la Architectural League. Su ubicación más larga y conocida fue en la localidad de Syosset en Long Island.

Estructura - "6 tubos de aluminio de 12 cm de diámetro conducen todo el peso de la casa a 6 zapatas de hormigón. No es necesaria una cimentación continua. Vigas laminadas de acero, atadas a las columnas, soportan las viguetas de acero aligerados; sobre ellas se coloca un suelo de chapa de acero laminado, sobre éste un tablero aislante y un último revestimiento de planchas coloreadas de linóleo "Armstrong". La escalera es de acero con pisas de linóleo.

Paredes - no son estructurales; su función es proteger y aislar la habitación. Se construyen con un ligero marco de acero clavado al entramado de madera y una cubierta de tablero aislante, resultando un muro de 7,5 cm de espesor. Éste ha resultado ser más efectivo en sus valores de aislamiento que un muro tradicional de fábrica de 33 cm. Al exterior el tablero aislante se cubre con papel embreado, que sirve de impermeabilización, y con aluminio ondulado, fijado con tornillos y orandelas del mismo material como cara exterior. Las estrechas ondulaciones dan a la hoja de chapa la necesaria rigidez. Las superficies pulidas del aluminio reflejan los rayos calientes del sol y aumentan el valor aislante del muro.

Aislamiento - tableros aislantes de 1 cm sobre los angulares de acero del enrastrelado, en paredes, suelos y techos expuestos.

Calefacción - caldera de fuel "Garwood"; calefacción por aire caliente forzado; circulación de aire con ventiladores de impulsión, control termostático.

Mobiliario - se incorpora como parte integral de la casa. Todos los acabados de la casa que están al alcance de la mano son de metal blanco. La barandilla es de aluminio y los herrajes de puertas y ventanas están cromados.

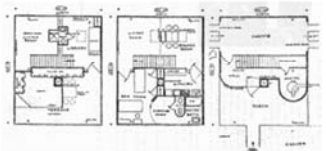
Acabados - las paredes interiores están terminadas en un tejido vítreo de colores planos "Du pont" que es fácilmente lavable y no coge polvo. Paredes del baño de "Vitralite" negro y del inodoro de "Lumaris", celuloide ignífugo que deja pasar la luz sin ser transparente. Ventanas de acero con vidrio ultravioleta. Hojas y cercos de puertas de acero con herrajes cromados." (YORKE. THE MODERN HOUSE. 1934).

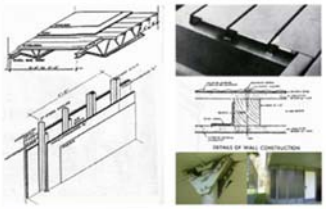
Tiempo de montaje.

Al terminar la exposición el arquitecto Wallace K. Harrison compró la casa por $1.000 y la trasladó en barco a Long Island para ser usada como refugio de fin de semana. La casa fue desmontelada en sólo seis horas. Al igual que para la exposición, se tardó nuevamente 10 días en montarla. Posteriormente en 1987 se volvería a trasladar al campus del New York Institute of Technology.













ARMCO STEEL HOUSES. Armco Steel Co. 1934.

"El sistema utiliza distintos tipos de paneles de acero para la producción de pequeñas viviendas de 2 plantas o bloques de 3.

Construcción.

Sobre una losa de hormigón se levantan unas columnas atornilladas a ésta que sujetan el primer forjado. Los paneles de suelo tienen 40 cm de ancho y 7,6 cm de canto y son de acero galvanizado. Se fijan a las vigas mediante tornillos de 2 mm de diámetro y se colocan con las costillas hacia arriba para formar el suelo con un tablero contrachapado de 2 cm de espesor que se clava a estas cada 40 cm.

Cuando la primera planta está en posición se montan los elementos de muro. Consisten en paneles de acero prelacado y galvanizado con unas costillas de refuerzo. La chapa está plegada con ondas de 12mm de profundidad. Tienen 2 plantas de altura y se fijan en el perímetro de la losa de cimentación al primer forjado y al nivel del alero con uniones de fuerca y tornillo. Salvo en las ventanas y en las puertas no hay juntas horizontales. La cara interior se trasdosa con espuma de vidrio.

El piñón de cubierta se construye en chapa de acero zincada y prelacada, doblada por una capa de poliestireno expandido de 2,5 cm de espesor y con una cara de papel "Kraft". Los cantos verticales van a tope y fijados a presión con una junta de plástico rígida. Estos paneles son onduladas y tienen 61 cm de ancho y 3 de canto.

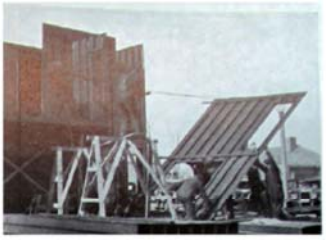
La cubierta es de paneles ondulados de las mismas dimesiones, de acero cubierto con aluminio. El panel es de una sola pieza desde el alero hasta el caballete y solapa con la onda contigua. Las juntas se impermeabilizan con cordones de poliuretano.

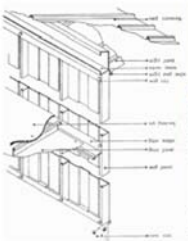
La estabilidad de la estructura a carga vertical se obtiene por la reticula de vigas y soportes de acero y las correas y paneles de cubierta. El refuerzo a viento consiste en un arriostramiento diagonal en el plano de los forjados y de los muros.

Las ventanas se fijan directamente a los paneles de fachada mediante tornillos y sin ningún marco adicional. La tabiquería interior es de paneles desmontables de entramado de madera o de cualquier otro material sintético. El techo está formado por paneles de yeso atornillados a los chopas del forjado. La ventilación se ha estudiado cuidadosamente para permitir la circulación del aire desde el alero hasta la cumbrera para eliminar el riesgo de condensación. Las canalizaciones están en el interior de los muros del forjado." (YORKE. THE MODERN HOUSE. 1934).











Portada de la revista *"Living Research"* de ArmCo.

CASA EN LONG ISLAND. Kocher & Frey. 1935.

"Es una casa de vacaciones elevado sobre pilares metálicos. El espacio bajo la casa se utiliza como garaje para dos automóviles. La cubierta sirve para dormir al aire libre en verano, o para tomar el sol durante el día."

Construcción.

"Entramado de madera soportado por 6 pilares metálicos, que arrancan de seis zapatas aisladas. El entramado se chapa a dos caras con tablas machihembradas de madera de secuoya, sobre la que se tensa una lona. Los suelos y techos de tablero de madera aglomerado.

Aislamiento - papel de aluminio formando una membrana en el interior de la pared de 10 cm de espesor, así como también en el forjado y la cubierta.

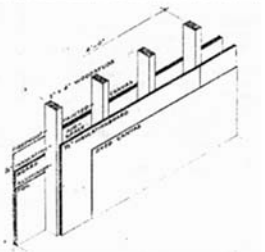
Cubierta - como las paredes más un tablero de aglomerado de madera.

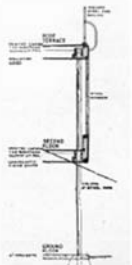
Ventanas - de acero, batientes y acristalados con "Vita Glass".

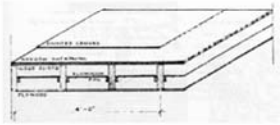
Acabados - al exterior lona pintada. Al interior tablas de madera laminada de 0,6 cm." (YORKE. THE MODERN HOUSE. 1934).















Popular Science, June 1948, page 213
Vol. 152, No. 6

PACKAGED HOUSE. K. Wachsmann - W. Gropius. 1941.

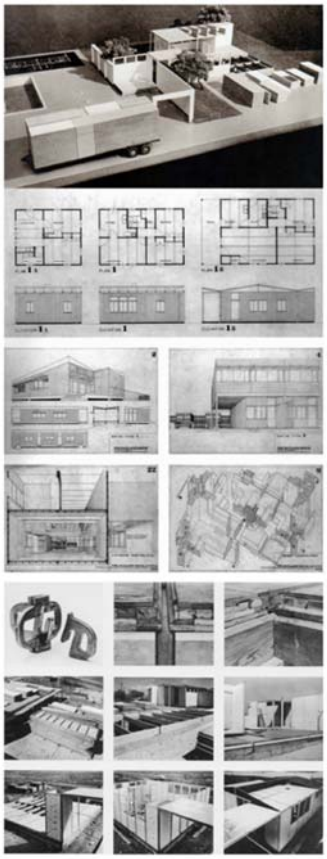
La Packaged House de Konrad Wachsman y Walter Gropius no es un caso más entre las propuestas de industrialización propias de su época, basadas fundamentalmente en el empleo de estructuras metálicas ligeras, sino que debe considerarse como un ejemplo maduro de una tradición anterior: la construcción con paneles prefabricados de entramado ligero de madera común a ambos lados del Atlántico, pero especialmente enraizada en la práctica americana del *balloon frame*.

Construcción.

Apoyado por Gropius, Wachsmann, que había llegado a Estados Unidos en 1941, partió de su importante bagaje técnico adquirido en el diseño de casas de madera en la empresa Christoph Unmack desde finales de los años 20 (incluida la vivienda de Einstein en Postdam), para proponer un nuevo sistema adaptado a los requerimientos locales. Con este fin, renunció a diseñar un prototipo cerrado, optando por desarrollar un catálogo de piezas compatibles con diversas distribuciones. Fundado en una estricta modulación y en la repetición universal de una serie limitada de juntas, el sistema contaba con una gama de 10 paneles diferentes de 40x120 in (1x3 metros aprox.) que podían combinarse horizontal y verticalmente para formar las diferentes configuraciones espaciales.

Sin embargo, esta investigación modular no resultó suficiente para que se concediese una patente americana al sistema en su conjunto, aunque sí la obtuviese el conector para los paneles, una pieza plana en forma de X mucho más versátil que los tradicionales nudos espaciales en Y. A pesar de ello, en 1943 pudo montarse un prototipo del sistema en Somerville, Massachusetts, que, pese a las críticas, acabó convenciendo a los inversores para encargar la producción de las casas (previsto en 8.500 unidades al año) a una antigua fábrica aeronáutica, constituyéndose asimismo una empresa para su comercialización, la General Panel Corporation. Desgraciadamente, en su aplicación real, el sistema resultó demasiado rígido para admitir las tolerancias exigibles en la puesta en obra, por lo que dejó de fabricarse en 1952.





PANELES PORTANTES - PERIMETRALES

Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.

PACKAGED HOUSE. K. Wachsmann - W. Gropius. 1941.

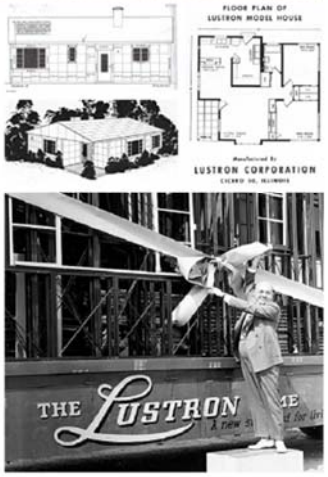
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

LUSTRON HOUSE. C. G. Strandlung + Lustron Corp. 1948.



"En 1945 millones de soldados americanos volvieron a casa tras la II Guerra Mundial para hacer frente a la mayor escasez de viviendas conocida en EE.UU. Al igual que a industria del automóvil había propulsado la economía nacional en los años 20, los economistas vieron un gran potencial en el sector de la vivienda para mantener el rumbo de una delicada economía de postguerra. El presidente Truman entendió este reto y creó en su gobierno el "National Housing Expediter", un puesto que se encargaría de supervisar una iniciativa sin precedentes del gobierno para subsidiar la construcción de viviendas, preferiblemente rápidas y baratas. La vivienda prefabricada nunca había tenido mayor potencial de viabilidad en el panorama americano, y a partir de esta iniciativa surgieron numerosas "house factories".

Muchas de estas fábricas continuaron en la línea de la tradición Sears, prefabricando viviendas que parecían, al menos de lejos, hechas "a mano", revestidas de falso ladrillo, morteros y otros acabados. Carl Strandlund, un inventor de herramientas agrícolas de procedencia sueca y propietario de unos 150 patentes, obtuvo del gobierno 40 millones de dólares para desarrollar un tipo de vivienda prefabricada muy diferente. Strandlund propuso una casa prefabricada hecha completamente en acero, apropiándose de los sistemas



PANELES PORTANTES - ENSAMBLADOS ALIGERADOS

Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.

LUSTRON HOUSE. C. G. Strandlung + Lustron Corp. 1948.

VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

LUSTRON HOUSE. C. G. Strandlung + Lustron Corp. 1948. (Continuación).

prefabricados que su compañía, Chicago Vitreous Enamel, había hecho famosos principalmente en estaciones de servicio. Para la Reconstruction Finance Corporation (RFC), el principal atractivo era garantizar el negocio de una industria del acero cuya supervivencia estaba en duda. Para Strandlund, el motivo de su propuesta fue el precio. él esperaba que la casa de acero costara significativamente menos que la contrapartida de producción en masa de casas de madera como las que William J. Levitt estaba proyectando para Levittown. Un vicepresidente de Lustron Corporation comentaba: "Usted junta un martillo y una sierra y obtiene una llave inglesa". Strandlund adquirió una fábrica de aviones de guerra en Columbus, Ohio, y reestructuró gran parte de la maquinaria ya instalada para fabricar casas en lugar de aviones.

Lustron produjo su primera casa, bautizada "Westchester Two Bedroom", en 1948. La casa, de aproximadamente 32 sq feet, descansaba sobre una cimentación de hormigón vertido in situ, en la que apoyaría un marco estructural de acero coronado por cerchas que abarcarían el ancho de la vivienda colocándose cada 4 ft. Todas las divisiones interiores eran unidades modulares prefabricadas con frecuencia se duplicaban como estanterías, armarios y tocadores. El exterior estaba revestido con paneles cuadrados de 2 ft de acero con porcelana esmaltada, que destacaban por su durabilidad y facilidad de limpieza. Toda la vivienda llegaba empaquetada en un camión Lustron de diseño especial. El montaje se realizaba en unos ocho días. La composición formal de la casa no era particularmente novedosa, pero la paleta de materiales y el montaje extraordinariamente rápido la diferencian de cualquier casa construida con anterioridad. De algún modo, la Westchester era, junto con la Keck's Crystal House y la Stran-Steel House, una de las primeras casas prefabricadas en cuyo formo se ilustran explícitamente sus medios de construcción. Era francamente y con orgullo un producto industrial.

Pero el entusiasmo inicial desapareció muy pronto. En 1949, las ventas habían disminuido seriamente ya que las casas resultaban ser entre un 30% y un 50% más caras que en el proyecto. En lugar de producir 100 por día, la compañía realizaba solo unos veinte. En medio de un creciente escepticismo de la RFC, se emitió un último y elevado cheque a Strandlund para intentar volver la compañía. El mismo hecho de que la



casa Lustron estaba obviamente realizada en fábrica también condujo a un escepticismo generalizado sobre su aspecto y en algunos casos a la burla absoluta. La revista *Time*, en particular, reiteradamente arremetía contra la casa, informando con entusiasmo de los problemas financieros de la compañía, e insistiendo en describir a la vivienda como una "bañera" o un "puesto de perritos calientes" y preguntándose si "la gente realmente quería vivir en casas de acero". En 1950 la compañía se declaró en bancarrota. A pesar de la fuerza conceptual del proyecto, el gobierno fue reacio a salvar a Strandlund una vez más y las empresas cerró sus puertas, habiendo producido algo menos de 2.500 casas." [MOMA. HOME DELIVERY. 2008].

PANELES PORTANTES - ENSAMBLADOS ALIGERADOS

Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.

LUSTRON HOUSE. C. G. Strandlung + Lustron Corp. 1948.

VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

CASA EN NANCY. Jean Prouvé 1954

Construcción.

La casa se sitúa en un terreno con una fuerte pendiente y gran dificultad de acceso. Los elementos se trasladan prácticamente a mano o con medios muy rudimentarios y deben poder ser manejados por una o dos personas.

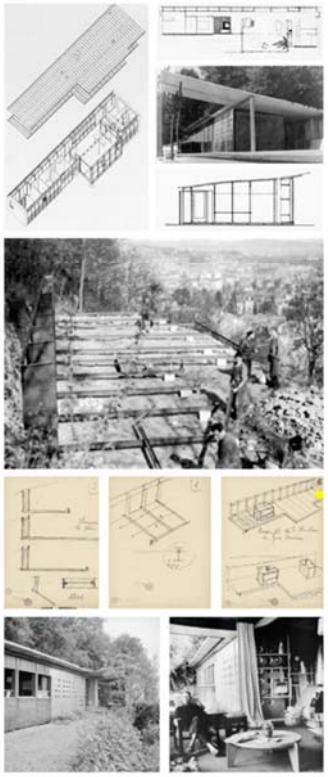
La casa arranca sobre un forjado formado por vigas metálicas IPN de 5 y 9 metros de largo, separadas cada 2 metros y apoyadas sobre pilaretes de bloque. El forjado, separado del terreno, crea un vacío sanitario y se rellena de hormigón dejando las conducciones de un sistema de calefacción radiante.

La estructura vertical se coloca en las fachadas longitudinales. La trasera, pegada al corte del terreno, está formada por 13 bandejas de chapa metálica de 3 m de alto por 1 metro de ancho dispuestas de manera perpendicular a la línea de fachada. Los bordes plegados, taladrados alternamente, permiten la unión de las bandejas entre sí y al suelo mediante tornillos y tuercas.

En la fachada opuesta, la principal, separada de la anterior 5 metros, se colocan 13 paneles autoportantes. Los paneles siguen de nuevo la modulación de 1 metro, excepto en los vidriados del salón, que aumentan a 1.60 m. Los paneles son de dos tipos: a) bastidor de aluminio con una ventana practicable en su parte superior, cerramientos de entablado de madera solapado que en su parte inferior deja un hueco para alojar una persiana metálica rígida de guillotina; b) bastidor de madera, alma de manta aislante y cerramiento de dos caras de aluminio con 12 o 16 huecos de forma circular. La estructura vertical se completa con los dos únicos muros de piedra colocados en los piñones, que rigidizan el conjunto.

Cubierta - la cubierta se resuelve con tableros contralaminados de 1 metro de ancho, largo que varía entre 5 y 9 metros, y 7 cm de espesor. Estos tableros están formados por tres capas de tablas encoladas con tres nervaduras longitudinales superiores que rigidizan el plano. Estos tableros son los únicos elementos constructivos que requieren, por su peso y tamaño, la intervención de 2 o más personas. Estas piezas se apoyan simplemente sobre la estructura vertical, adoptando la forma por su propio peso. En la zona del salón se introduce una viga cajón con esperas en escuadra que se atornillan a los tableros para frenar la flecha de los mismos. Los tableros se impermeabilizan en cubierta con chapa de zinc.

Paredes interiores - la tabiquería interior se realiza con este mismo tipo de tablero contralaminado. Los puertas están cortadas directamente sobre el



panel. Tienen las esquinas redondeadas y no llegan al suelo. La gran puerta vidriada de 4 metros que se abre en el retranqueo del salón es una puerta pivotante de tipo industrial que alarga la estancia y la comunica totalmente con el exterior.

PANELES PORTANTES - PERIMETRALES

Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.

CASA EN NANCY. Jean Prouvé 1954.

VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

ANVIL -sistema-. 1968.

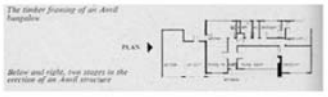
Construcción.
"Cimentación - cimentación corrida de hormigón con muro de 1/2 pie de ladrillo o de bloques de hormigón. Solera de hormigón.
Paredes - paneles de entramado de madera formados por pies derechos (4x1 1/2in) cada 16in, tablero exterior de contrachapado e.5/16in con barrera de vapor, aislamiento de fibra de vidrio e.2in, lámina de polietileno 250, y panel de yeso laminar e.1/2in al interior. Si los paneles vienen totalmente acabados de fábrica el acabado exterior de los muros de fachada está formado por tableros de lamas verticales de cedro e.1in clavados a listones 2x1in cada 24in.
Los paneles también pueden fabricarse sin revestimiento exterior, de manera que este pueda realizarse in situ con fábrica de 1/2 pie de ladrillo anclado a la estructura por medio de anclajes galvanizados, o con otros acabados de piedra o cerámica.
Carpinterías de aluminio correderas con sistema Solavent.
Paredes interiores de entramado prefabricado de madera con aislamiento de fibra de vidrio e.2in en su interior y paneles de yeso laminar a ambos lados.
Suelos de baldosas termoplásticas o de tablero contrachapado de madera.
Cubierta - a dos aguas, con pendientes de 22,5º, construida con cerchas cada 2ft formadas por barras de madera 4x1 1/2 in unidas con cartelas de tablero de contrachapado de madera.
Aislamiento de fibra de vidrio e.2in entre cerchas.
Hastiales de tablero horizontal machihembrado e.3/4in con barrera de vapor sobre entramado prefabricado de pies derechos de madera 4x1 1/2in cada 16in." [DIAMANT, INDUSTRIALISED BUILDING, 1968].

Factor de forma. (Tipología media).
Superficie envolvente: 368m2.
Volumen: 276m3
F = S/V = 368/276 = 1,33

Superficie - presupuesto.
Dinedor (4 bedroom) - 1.056 sq ft - £2.900
Belmont (3 bedroom) - 960 sq ft - £2.620
Clifford (2 bedroom) - 740 sq ft - £2.300









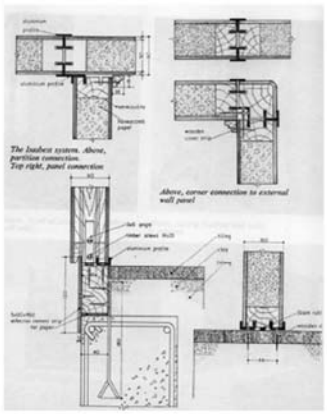
PANELES PORTANTES - PERIMETRALES
ANVIL -sistema-. 1968.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

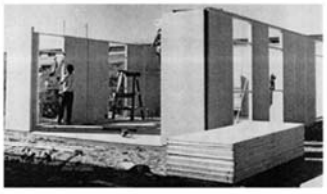
ISABEST -sistema-. Israel. 1968.

Construcción.
"Cimentación - Losa de hormigón. Una serie de anclajes planos de acero (7x1 1/2x3/16in) se sitúan en el perímetro de la losa. Éstos se emplean para atornillar unas piezas de madera que descansan sobre una lámina bituminosa antihumedad. Una capa de arena rellena el espacio limitado por las piezas de madera del perímetro y sobre ella se colocan unas baldosas cerámicas.
Un perfil de aluminio en U se atornilla a la cara superior de las piezas de madera del perímetro. A su vez una tira de madera (3/8x3/4in) se clava sobre ellas.
Paredes - Para las paredes se emplean paneles en los que tanto la cara interior como la exterior son láminas de fibrocemento e.1/4in unidas a un entramado de madera relleno de vermiculita expandida con refuerzo de panel de abejo como material aislante. Las medidas estándar de los paneles son 8ft 2in x 3ft 1in y 2 3/8in de espesor. Estos paneles de fibrocemento se encajan sobre la U de aluminio extruido apoyando a su vez sobre las tiras de madera. Las juntas verticales entre paneles se resuelven mediante parejas de perfiles de aluminio en H que encajan en unas ranuras realizadas en los bordes interiores y exteriores del canto de los paneles. Esto junta evita puentes térmicos. Se desarrollan piezas especiales para las esquinas y también para el encuentro de las paredes perpendiculares y la fachada.
Las paredes interiores se realizan con los mismos paneles ya definidos que descansan sobre parejas de perfiles de aluminio en U atornillados a pequeñas piezas de madera integradas en el suelo. Entre los perfiles se dispone una tira de goma Ø1/2in que proporciona una base elástica de apoyo adecuada. Los paneles se colocan gracias a unos angulares de acero unidos al entramado de madera en los cantos.
Toda la vivienda puede ser montada a partir del mismo tipo de panel, exceptuando aquellos donde se situan las ventanas y puertas. Todas las instalaciones se incorporan al panel durante su fabricación, al igual que los angulares de sujección de acero.
Cubierta - la cubierta de cerchas de madera se cubre con una lámina de fibrocemento. El techo se realiza con paneles sandwich de fibrocemento e.1 1/2in con alma de vermiculita." [DIAMANT, INDUSTRIALISED BUILDING. 1968].

Tiempo de montaje. 4 obreros - 3 días.
Factor de forma. Sup. envol.: 181,56m2.
Volumen: 116.15m3
F = S/V = 181,56/116,15 = 1,56

Superficie - presupuesto. 2 bedroom - 535 sq ft (50.5m2)







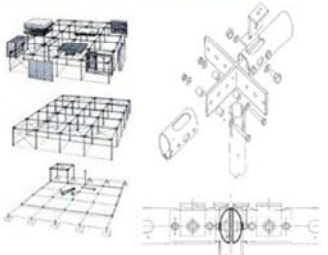
PANELES PORTANTES - PERIMETRALES
ISABEST -sistema-. 1968.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

YACHT HOUSE. Richard Horden, 1983.

Uno de los últimos ejemplos de casas dentro del High-Tech británico, la Yacht House de R. Horden, fue construida para una familia con modestos recursos que querían poder ampliar su vivienda de 1.320 a 2.250 sq feet.

Construcción.
"La casa inicial era de una planta, desarrollada en una trama espacial de diseño especial en unidades cúbicas perfectas. Las zapatas de hormigón de los extremos cortos fijan la estructura, mientras que los elementos de aluminio en compresión y de acero en flexión mantienen la estructura espacial unida. La familia montó la casa en unas semanas. Una notable característica del proyecto fue la "transferencia tecnológica" o la apropiación de un mástil de yate tubular de aluminio diseñado por Rodney Marsh derrina de las series de tubos horizontales con poliester blanco de la estructura espacial de aluminio con recubrimiento en polvo. Esta piel actúa como un "wind frame" que aumenta la rigidez estructural, y funciono como el armazón en el que se encajan el suelo, la cubierta y los módulos de la paredes interiores. La "transferencia tecnológica" es un concepto muy usado en el High-Tech en general, donde otros campos del diseño demuestran tener valiosos recursos para los nuevos pensamientos de la producción arquitectónica.
La Yacht House ilustra algunas de las cuestiones iniciales dentro de la vivienda y la tecnología a las que Horden ha dedicado su investigación y desarrollo profesional. Se han construido muchos versiones de la Yacht House con fines domésticos y también comerciales." [MOMA. HOME DELIVERY. 2008].









ESQUELETO ESTABLE + CERRAMIENTO
YACHT HOUSE. Richard Horden, 1983.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

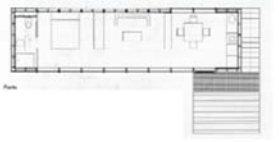
CASA SU-SI. J. y O. L. Kaufmann. 1999.

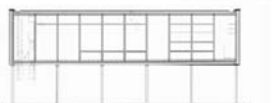
"Su-Si tiene unas dimensiones en planta de 4,33x12,63 m. con una altura de 3,25 m y un peso de 10 toneladas. Concentra los servicios (cocina y baño) en los extremos, dejando libre la zona central para que el usuario decida la distribución que más se adapte a sus necesidades. El cuerpo habitable está elevado creando debajo un espacio cubierto al que puede darse diversos usos: aparcamiento, zona de almacenaje, etc.

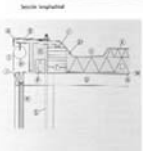
Construcción.
En primer lugar se construye la base de la vivienda: un tablero tricapa de cerramiento de 3 cm de espesor, bajo dos vigas perimetrales longitudinales superpuestas, de madera laminada, que se encolan y se clavan. En las zonas de cabeza se sustituyen por una única viga. Por último se añade un aislamiento de lana de roca y una barrera de vapor.
Sobre las vigas irán apoyándose sucesivamente las planchas portantes que forman el suelo. Cada una de ellas, compuesta por tablas de madera de picea, mide 1,20 m de anchura y cubre todo el ancho de la vivienda. Las esquinas presentan unas entalladuras que facilitan que se vayan encajando los pies derechos.
El segundo paso es la construcción de los paños ciegos que cierran los extremos formando una U. Están formados por un entramado de pies derechos de madera escuadrada, de 80x142 mm de sección, que se fija lateralmente a la viga perimetral. El entramado sigue una modulación de 60 cm y se estabiliza mediante tableros de virutas orientadas que actúan como un diafragma, colocados por la cara interior de los montantes, entre los que se encaja el aislante térmico de lana de roca.
A continuación se incorporan los paños largos. En la parte en la que luego se colocarán los grandes ventanales, se pasa a módulos de 1,20 m de anchura. Aunque en los muros ciegos se mantiene la modulación de 60 cm, el ritmo formal incorpora también esos 1,20 m ya que es la distancia que mantienen entre sí los montantes que quedan vistos. Estos últimos, tanto en la zona ciega como en la acristalada, se duplican y adquieren una sección mayor, de 34x200 mm. Los extremos presentan un perfil recortado para adaptarse a las vigas inferiores y superior. También aquí se emplean tableros de virutas orientadas para ofrecer el conjunto, o bien, detrás de los paños de vidrio, travesaños de las mismas dimensiones que los montantes vistos, que no sólo regularizan una















MODULOS 3D - AISLADO
CASA SU-SI. J. Kaufmann - O. L. Kaufmann. 1999.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumno: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

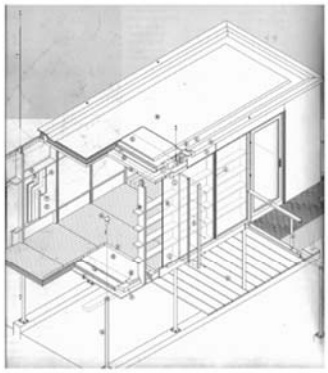
CASA SU-SI. J. y O. L. Kaufmann, 1999. (Continuación).

funcionan al mismo tiempo como estanterías.
Una vez preparada la estructura vertical se acopla el elemento de cubierta. Es similar al del forjado, aunque el sentido de las capas es inverso: un entablado de madera de picea con una cantera perimetral de madera laminada que ata el conjunto y a la que se fijan lateralmente los pies derechos, y un tablero de virutas orientadas para estabilizar la cubierta. Bajo el tablero se coloca la barrera de vapor y por encima un aislante de poliestireno expandido, un geotextil, y una lámina impermeabilizante de PVC blanda. El remate de la cubierta se construye con piezas de tablero tricapa recubiertas con chapa de aluminio lacado. El canalón, un sencillo rebaje en el aislante, queda oculto detrás y el desagüe de la superficie se produce por rebosamiento. Las bajantes se localizan en la zona del aseo.
El cerramiento exterior de la caja se compone de tableros tricapa de madera de picea, pintados de blanco. El revestimiento interior es un tablero de densidad media que se fija a la estructura a través de un envrastrelado vertical.
Una vez se han añadido el acristalamiento y los protectores frente al soleamiento -accionados por un motor eléctrico conectado a sensores de viento y solares-, el módulo está listo para ser transportado. En la cara inferior de la caja se han dispuesto unos enanos metálicos de sección circular que, una vez en obra, se deslizan dentro de los pilares de acero galvanizado ya preparados para servir de apoyo. Estos ocho soportes llegan hasta la cimentación, a base de zapatas corridas de hormigón, y se arriostran con tirantes metálicos.
Se emplean tirantes de acero emparedados entre los montantes dobles y anclados a los enanos metálicos, para transportar las cajas." (REVISTA TECTÓNICA 13. MADERA II).

Tiempo de montaje.
Entrega - 6 semanas desde la orden.
Montaje - 5 horas.

Superficie - presupuesto.
Su-Si 43 Wohnen - 43m2 - 109.000 €

Energía primaria consumida.
Madera - 38.898 MJ
Total - 101.436 MJ









MODULOS 3D - AISLADO
CASA SU-SI. J. Kaufmann - O. L. Kaufmann. 1999.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilcueta Astarloa. Alumno: Paula Jolín.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

ECOMS HOUSE. Riken Yamamoto & Field Shop. 2004.

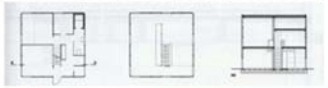
Riken Yamamoto & Field Shop han desarrollado un prototipo de sistema ligero industrializado para un fabricante de perfiles especiales y sistemas para mobiliario de aluminio (SUS Corporation). Debía aprovechar de manera óptima las cualidades específicas del aluminio y mostrar una gran identidad estética. La casa está situada junto a la fábrica, en la prefectura de Saga. El prototipo busca, junto a un concepto constructivo novedoso, una solución arquitectónica para una cambiante forma de vida urbana. La planta baja cuenta con dos habitaciones, baño, y zona de almacén; en la planta alta se encuentra la cocina junto al comedor, el estar, y la zona de trabajo. Esta distribución variarse colocando las zonas de descanso en la planta alta si se desea utilizar la planta baja como oficina o comercio.

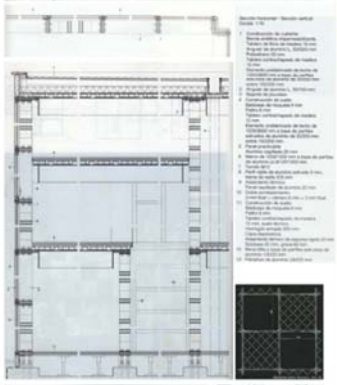
Construcción.
Estructura - la vivienda se construye enteramente en aluminio. El punto de fusión durante su producción es menor que el del acero y la estabilidad para el mismo peso es sin embargo 1.5 veces mayor. En su fabricación puede introducirse, en cierta medida, material reciclado. Cada módulo unitario tiene unas dimensiones exteriores de 1200x1200 mm. La construcción del módulo en forma de celosía o rejilla consiste en una serie de perfiles extruídos en forma de espa con uniones rígidas en los encuentros en forma de gulas. El conjunto de los perfiles unidos se atornilla a un marco perimetral. Posteriormente en obra cada uno de los módulos se unirá a los otros por tornillería mediante unos elementos en forma de cruz. Gracias a la alta precisión de fabricación de los perfiles extruídos las tolerancias de montaje son mínimas y fácilmente absortidas por las uniones atornilladas.
Fachada - se colocan por el exterior de los muros estructurales modulares de aluminio, y consiste en una serie de paneles aislados de aluminio, y una serie de paneles - vidrio con doble acristalamiento, colocados de manera alterna.
Suelos - los elementos del forjado se componen también de una estructura modular de aluminio extruída, con unas bandejas de aluminio sobre las que se coloca un tablero contrachapado de madera, una capa de fieltro y un acabado de baldosas de moqueta.

Producción y desmontaje.
Gracias a la posibilidad de reducir el número de componentes estandarizados permite construir una construcción extremadamente económica, lo que supone un gran valor de producción. Para el futuro se está pensando en resolver en leasing este sistema (completo o parcial). También el desmontaje puede ejecutarse de manera rápida y sencilla. El carácter modular y ligero de la estructura permite además ahorrar grandes costes de montaje y transporte.

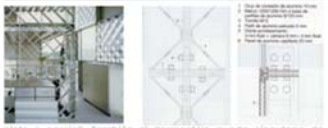
Superficie. 115.35m2.











PANELES PORTANTES - ENSAMBLADOS ALIGERADOS
ECOMS HOUSE. R. Yamamoto & Field Shop. 2004.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilcueta Astarloa. Alumno: Paula Jolín.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

MUJI HOUSE. K. Namba + MUJI. 2004.

La vivienda, comercializada por Muji, ofrece distintos tamaños y distribuciones en función de las necesidades de los diferentes usuarios. Los programas y dimensiones ofrecidos se desarrollan en planta siguiendo el módulo tradicional japonés "ken": 1 ken = 6 pies = 182 cm.
En todas las opciones el esquema es el mismo. La vivienda presenta un frente de acceso acristalado con un alero que cubre un porche o terraza longitudinal. El interior se desarrolla en dos plantas en torno a un "atrio" o doble altura central.
Una de las últimas campañas de la marca japonesa, desarrollada entre junio y octubre de 2012, consistía en el sorteo de una estancia en una casa Muji completamente equipada y amueblada en Mitaka (Tokio) durante dos años. A cambio el premiado debía rellenar varios cuestionarios sobre su experiencia. No era necesario ser japonés para participar, aunque sí dominar el idioma.

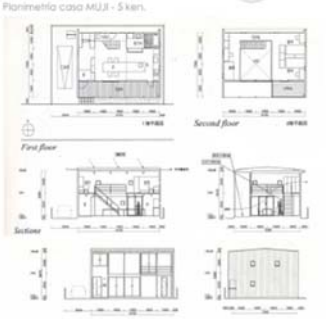
Construcción.
La vivienda sigue el concepto de "esqueleto + superficie". Todos los elementos de la estructura (a excepción de los soportes exteriores del porche de acceso) son de madera laminada (LAS madera laminada estructural), que presenta menor deformación, torsión y posibilidad de agrietamiento que la madera maciza. Además, en la base de la vivienda se emplea madera laminada de Ciprés Hinoki, de especial dureza y resistencia al desgaste.
La estabilidad estructural en el plano horizontal se obtiene mediante unos tableros de piso de madera contrachapada estructural de 28 mm de espesor clavados a las vigas de la estructura soporte, dotando de gran rigidez al conjunto.
A diferencia de los sistemas tradicionales, se propone una fuerte unión entre vigas y pilares mediante elementos de acero galvanizado, lo que proporciona gran robustez a todo la estructura aumentando su capacidad de resistencia al sismo. También se pretende concentrar mayor peso en las zonas inferiores (a nivel de cimentación) para proporcionar un mejor comportamiento del edificio ante terremotos.
Del mismo modo, la conexión de los pilares con la cimentación se realiza mediante uniones metálicas rígidas.
Este prototipo de casa Muji presenta







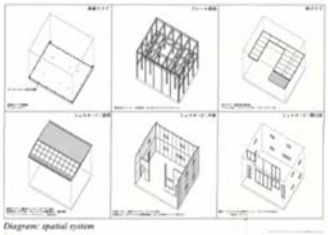
Planimetría casa MUJI - 5 ken.

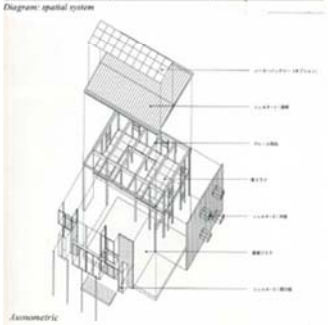


ESQUELETO ESTABLE + CERRAMIENTO
MUJI HOUSE. Kazuhiko Namba + MUJI. 2004.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilcueta Astarloa. Alumno: Paula Jolín.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

MUJI HOUSE. K. Namba + MUJI. 2004. (Continuación).

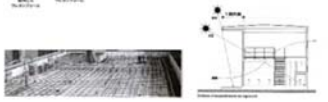
una resistencia al sismo grado 2 (dentro de los 7 grados posibles de la escala aplicada en Japón).
Aislamiento - la vivienda se aísla completamente por el exterior envolviendo la estructura, evitando puentes térmicos y reduciendo el riesgo de condensaciones. Se emplea espuma rígida de poliuretano de alta densidad, con una conductividad térmica de 0,021 W/m K.
Fachadas - la fachada es ventilada con acabado exterior en chapa plegada de acero sobre listones horizontales de madera. Los vidrios son dobles con cámara de aire.
Instalaciones - la vivienda incorpora un sistema de ventilación natural, con entrada de aire fresco desde los dormitorios y el salón y extracción forzada en aseos. La calefacción es por suelo radiante instalado en planta baja. Todos los aparatos y sistemas funcionan con energía eléctrica.
Cubierta - está formado por paneles aislantes compuestos de aislamiento de espuma intercalada entre hojas de madera contrachapada. Impermeabilización y revestimiento de acero galvanizado.
Estructura y uniones - frente al método tradicional de construcción con madera, en el que se puede llegar a producir una excesiva pérdida de material en la cabeza de los pilares reduciendo considerablemente la resistencia en las uniones, se emplea en la casa Muji el llamado método estructural SE. Este método consiste en un entramado de vigas y pilares de madera con un sistema de uniones rígidas. Todos los elementos son de madera laminada (LAS madera laminada estructural tipo F4) que presenta unos valores de resistencia aproximadamente 1,6 veces mayores que los de la madera maciza estructural.
La estabilidad en el plano horizontal se obtiene mediante unos tableros de piso de madera contrachapada estructural de 28 mm de espesor, a los mencionados anteriormente, clavados a los vigas de la estructura soporte.
La estructura del suelo de planta baja se ancla directamente a la cimentación independizándose de la base de los pilares, sin establecer conexiones con éstos.
Los uniones entre pilares y vigas presentan un alto grado de rigidez y se resuelven siempre siguiendo el mismo detalle a través de unos herrajes conformados con pletinas soldadas de acero que se introducen en el eje de la viga y son fijados a la misma mediante pasadores. La conexión con el pilar se realiza a través de unos conectores





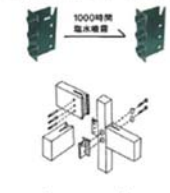


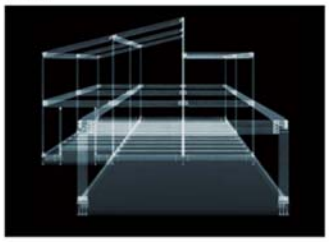


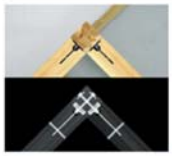


ESQUELETO ESTABLE + CERRAMIENTO
MUJI HOUSE. Kazuhiko Namba + MUJI. 2004.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilcueta Astarloa. Alumno: Paula Jolín.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

MUJI HOUSE. K. Namba + MUJI. 2004. (Continuación).





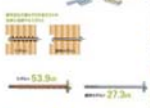




circulares de superficie de anillo y unos pernos de fuste roscado completo que atraviesan toda la cabeza del pilar. Estos pernos, al ser roscados en toda su longitud, presentan una mayor superficie de contacto con el elemento estructural y una resistencia media a la tracción 2 veces mayor que un perno normal de fuste liso. También el sistema de fijación autoroscante asegura la rigidez de la unión ante la posible contracción de la madera por secado y envejecimiento.
En la base de los pilares se introducen del mismo modo unos herrajes de acero que mediante unos pernos roscados transmiten la carga directamente a cimentación.
Todos los elementos metálicos de conexión tienen un recubrimiento obtenido mediante un proceso de electrodeposición catiónica.
La fabricación de los elementos de la estructura se mecaniza con una exactitud de milímetros gracias a un sistema CAD-CAM.
Muji ofrece para estas viviendas una garantía de 10 años a partir de la entrega. Durante este tiempo realizará 4 inspecciones: a los 6 meses, al año, a los 2 años y a los 10.

Superficie - presupuesto.
40 m2 a 160 m2 - precio promedio ¥17.850.000 (de 63.000 a ¥21.590.000 dependiendo de la superficie).







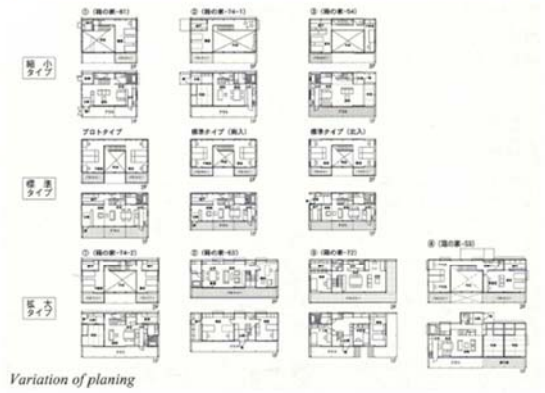




ESQUELETO ESTABLE + CERRAMIENTO
MUJI HOUSE. Kazuhiko Namba + MUJI. 2004.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

MUJI HOUSE. K. Namba + MUJI. 2004. (Continuación).





Variation of planing

ESQUELETO ESTABLE + CERRAMIENTO
MUJI HOUSE. Kazuhiko Namba + MUJI. 2004.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

TOYOTA HOUSE. 1978 - 2013.

Las viviendas que comercializa hoy la casa japonesa de automóviles Toyota llaman la atención por su aspecto tradicional frente a los avances tecnológicos incorporados en su proceso de construcción procedentes de la industria del automóvil.
Las viviendas ofertadas presentan distintos tamaños en función de las necesidades del usuario, y se desarrollan en una o dos alturas.

Construcción.
Se trata de un sistema de construcción modular de viviendas. Frente al método tradicional de construcción con pilares y vigas de madera, y a la evolución al esqueleto de madera con elementos superficiales de rigidización, el método aplicado en las casas Toyota emplea un esqueleto de acero arriostrado por tableros de madera contrachapada estructural y paneles de yeso.
Para la construcción de las viviendas se emplea el llamado Método Toyota SW. Cada vivienda está formada por una serie de módulos con estructura de acero compuesto cada uno de ellos por cuatro pilares extremos (de 12,5 x 12,5 cm) soldados a las vigas perimetrales entre las que se colocan las viguetas metálicas. Con este sistema se pretende reducir al máximo las deformaciones en las uniones viga-pilar.
Cada módulo tiene un ancho aproximado de 2,30 m y una longitud que puede llegar a los 8 metros. La casa se ancla sobre una sólida cimentación realizada sobre terreno mejorado. Tras la realización de varios ensayos se ha obtenido una resistencia estructural de grado 3 (dentro de las 7 posibles) según la escala aplicada en Japón.
Frente a la inconvenientes del empleo de madera estructural en cuanto a la contracción por secado, torsión, deformación, y aparición de fendas, la estructura se realiza completamente en acero. Se utiliza una chapa de acero galvanizado obtenida de la tecnología de Nippon Steel y Toyota Motor, con una durabilidad de más de 100 años.
La casa incorpora además el Sistema T4, que consiste en un dispositivo de amortiguación que absorbe la energía del terremoto, reduce la deformación de la construcción y minimiza los daños ocasionados a la estructura. Los componentes del sistema se colocan en todas las paredes perpendiculares de la vivienda. Se trata de aplicar la idea del amortiguador utilizado en el automóvil, para disipar el movimiento de rotación del sismo.
Aislamiento - la vivienda se envuelve completamente por el exterior de la estructura con un material aislante. Además, se prevee una cámara











MODULOS 3D - AGRUPADOS
TOYOTA HOUSE. 1978 - 2013.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

TOYOTA HOUSE. 1978 - 2013. (Continuación).

ventilada entre el aislamiento y la pared exterior. Así se reduce el riesgo de condensación y de aparición de humedades aumentando la durobilidad de la construcción.
Fachadas- los revestimientos exteriores de las fachadas puedes elegirse entre distintas opciones ofrecidas por Toyota.
Suelos - para mejorar el aislamiento acústico y de ruido de impacto entre el piso superior y el inferior se aplica la tecnología de control de la vibración empleada en el automóvil, mediante la instalación de unos "amortiguadores dinámicos" en el suelo de la planta superior.
Instalaciones - entre las instalaciones incorporadas a la vivienda se encuentran varias patentes desarrolladas por el grupo Toyota, entre las que se encuentra un sistema de carga de vehículos eléctricos integrado en la vivienda.
Toyota ha establecido un centro de asistencia doméstica permanente para trabajos de mantenimiento cotidiano, 24 horas al día, 365 días al año. También incorporan un servicio de consulta de atención médica y de enfermería.
Producción - la marca japonesa incorpora en su producción de viviendas el concepto "Lean thinking". Toyota ha tomado 5 de sus 14 principios utilizados en fabricación de automóviles y los ha aplicado al mercado de la vivienda prefabricado. Estos conceptos son:
Just-in-Time: cada parte del proceso llega justo en el momento en que es necesaria. La producción se divide en un proceso de materiales, conjuntos, componentes, y finalmente módulos. Cada uno de estos módulos se ensamblan en fábrica con máquinas y equipos automatizados. Al finalizar cada módulo se transporta al lugar de construcción con un nivel de acabado del 85%, que llegará a completarse (al 100%) en 8 horas.
Jidoka: el enfoque de Toyota es el uso de la automatización sólo cuando la tarea humana se ha perfeccionado y se considera que no tiene ningún valor artesanal.
Heijunka: es el sistema por el cual Toyota mantiene un bajo inventario y un suministro constante. Y esto lo logra mediante la fabricación directamente a pedido del cliente. Las unidades se construyen a demanda. El futuro propietario podrá elegir entre una variedad de revestimientos, colores, acabados interiores, dando al cliente la capacidad de personalizar su vivienda.
Trabajo Estándar: no todos los elementos que forman la vivienda modular Toyota son "personalizables". Al igual que ocurre en la producción de



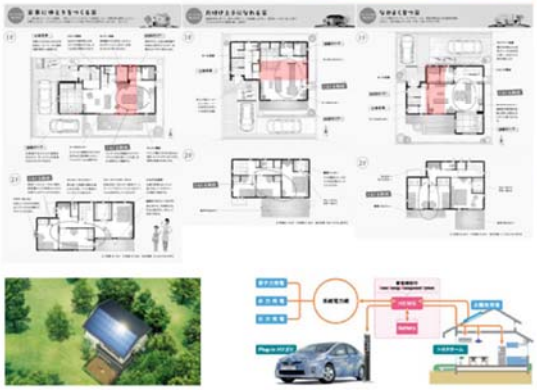
MODULOS 3D - AGRUPADOS
TOYOTA HOUSE. 1978 - 2013.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Joén.
VIVIENDAS AISLADAS INDUSTRIALIZADAS - SISTEMAS DE MONTAJE.

TOYOTA HOUSE. 1978 - 2013. (Continuación).

vehículos, un modelo básico con menos modificaciones a lo largo de varios años permite a Toyota entender la estructura del núcleo del automóvil, y así poder producir la pieza con mayor eficacia y menor coste. En el caso de las viviendas los módulos están normalizados incorporando la posible personalización en la configuración y relaciones entre ellos. Incluso con la flexibilidad y la multitud de configuraciones las casas de Toyota se basan todavía en un simple conjunto de reglas estándar de montaje. El trabajo estándar proporciona al fabricante y a los consumidores una total seguridad de que el producto que producen y reciben será de la máxima calidad. De ahí que Toyota pueda ofrecer una garantía de hasta 60 años para sus viviendas prefabricadas.

Kaizen: es el componente humano del proceso de fabricación. Está formado por todo el personal de diseño y producción incluyendo arquitectos, ingenieros, fabricantes, maquinistas, e informáticos. Aquellos que diseñan y los que fabrican trabajan al mismo nivel y colaboran para encontrar una solución óptima a cada problema.





BOKLOK. IKEA + Skanska. 1996 - 2013.

BoKlok es un concepto de vivienda desarrollado por Ikea y la constructora Skanska y construido, por primera vez en Suecia en los años 90 , y más tarde en Noruega, Dinamarca, Alemania e Inglaterra. La idea surge para dar respuesta a la necesidad de desarrollo de un modelo de vivienda a un precio asequible. Se trata de viviendas formados por módulos prefabricados, construidos con un entramado ligero de madera, que se ensamblan entre sí y se montan in situ.

El primer asentamiento en Dinamarca (84 viviendas en Sophienborgbo, Hillerad) se completó en el año 2004/2005. Posteriormente se desarrollan en Dinamarca dos promociones más, 39 viviendas en Mâlav en 2006/2007 y 24 viviendas en Frederiksund en 2007/2008. Se explica a continuación el desarrollo y construcción de las dos primeras promociones danesas citadas.



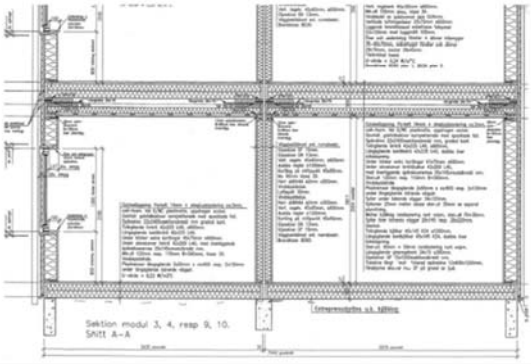
84 viviendas BoKlok en Sophienborgbo. Hillerad. Dinamarca.

Construcción.

Las 84 viviendas de Sophienborgbo, de dos, tres y cuatro dormitorios, se organizan en 14 bloques aislados con forma de L y dos alturas, con 3 apartamentos por planta. Cada bloque se construye con 12 módulos de madera realizados por la fábrica Moelven en Småland, Suecia. Cada apartamento abre sus huecos a 3 orientaciones. El ócceso a cada vivienda se realiza a través de una pasarela exterior. A cada bloque se le añade en planta baja un volumen lineal de una sola altura levantado sobre unas alzas o pies que contiene los trasteros y el espacio de



BoKlok en Sophienborgbo.
Planta del bloque y sección constructiva.



BOKLOK. IKEA + Skanska. 1996 - 2013. (Continuación).

clavos . Aislamiento de lana mineral e.95mm (185mm en fachada) entre montantes. Lámina impermeabilizante exterior. Acabado de placa de yeso 13mm + placa de yeso RF 15mm al interior. Montaje de elemento pared en elemento suelo mediante cajeado realizado a base de durmientes de madera colocados en ambos extremos.

Techo módulo - vigas de borde de madera 45x145mm y transversales 45x145mm cada 1200mm. Uniones de elementos de madera clavados. Aislamiento entre vigas de lana mineral e.95mm con refuerzo e.50mm en banda perimetral. Lámina impermeabilizante al exterior. Listones de madera 34x70mm cada 300mm para colocación de acabado interior de placa de yeso RF 15mm y panel aglomerado e.12mm con lámina de aluminio.

Fachada - el revestimiento exterior consiste habitualmente en un entablado de madera de picea pintada sobre listones. Las ventanas se incorporan al módulo en fábrica y presentan un valor U de 1.20 W/m2ºC.

Instalaciones - calefacción eléctrica con radiadores y suelo radiante o calefacción a base de agua con radiadores montados en la pared.

Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor. Conexión de instalaciones en cámara sanitaria.

Los módulos se transportan hasta la obra en camión y se colocan con ayuda de una grúa. Andamio previamente instalado. El ensamblaje de los volumenes se realiza in situ con la unión de los durmientes y secciones de la estructura de madera incorporados en fábrica a cada módulo mediante clavos de adherencia mejorada Ø3.2mm y longitud 240mm.

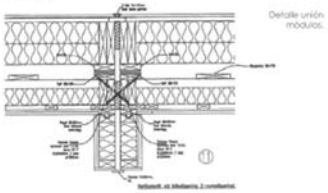
Una vez ensamblados los módulos se realiza la conexión de electricidad, saneamiento y fontanería.

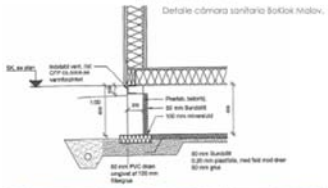
Como resultado de la construcción mediante el empleo de módulos tridimensionales se produce una duplicidad de cerramientos en la unión de éstos dando lugar a dobles paredes, techos y suelos, lo que supondrá ciertos beneficios en cuanto al aislamiento térmico y acústico de los espacios interiores.

El resto de promociones de IKEA+Skanska repite el desarrollo constructivo presentado en estas viviendas.

Superficie - presupuesto.

Las viviendas de la promoción de 22 apartamentos que actualmente están construyendo Ikea+Skanska en Hasselueden, Hässleholm (Suecia), presentan los siguientes precios:
2 dorm.- 53m2 - 695.000kr (=77.000 €)
3 d.- 70m2 - desde 895.000 kr (=99.000 €)
4 d.- 81m2 - desde 995.000kr (=110.000 €)















BOKLOK. IKEA + Skanska. 1996 - 2013. (Continuación).

almacenaje necesario para cada vivienda, cerrando así lateralmente la L y creando un patio semi-privado. En el caso de la promoción de Mâlev, ésta se compone de 39 viviendas adosadas, de 2 plantas con 5 dormitorios y escalera interior, formado cada una de ellas por 4 módulos realizados también por Moelven.

En todos los casos los módulos presentan un ancho de 2,54 m - 2,88 m - 3,36 m - y hasta 4.18 m (dimensión máx. 4.50 m por transporte), una longitud de hasta 10.2 m (en múltiplos de 60cm) (dimensión máx. 13 m por transporte), y una altura libre de 2,4 m y 2,7 m. Cada módulo tienen un peso de entre 180-250kg/m2.

Los módulos pueden conectarse en ambas direcciones, tener aberturas tanto en el lado largo como en el corto, y también combinarse con elementos de superficie suministrados una mayor flexibilidad al espacio interior.

La separación entre las distintas habitaciones en una unidad de vivienda se sitúa en el borde de cada módulo. Los cuartos húmedos (cocina y baño) se ubican en el mismo módulo para ahorrar costes.

Los módulos llegan a obra sellados con teja asfáltica y con las ventanas ya incorporadas.

Elementos como la cubierta inclinada, las escaleras exteriores, o los balcones, se suministran como unidades separadas prefabricadas que serán montadas en la obra lo que proporciona una cierta libertad en el diseño del edificio.

Cimentación - vigas perimetrales prefabricadas de hormigón sobre cimentaciones puntuales. Lámina impermeabilizante y aislamiento de poliestreno sobre lecho de grava para retener la humedad. Rejillas para ventilación de la cámara sanitaria en vigas perimetrales.

Forjado módulo - vigas de borde de madera laminada 42x225mm y transversales 42x225mm cada 600mm (refuerzo con viguetas 45x70mm/600mm bajo cuartos húmedos) arriostradas horizontalmente mediante tablero aglomerado MDF e.22mm superior. Conexión de elementos mediante clavos. Aislamiento de lana mineral 110+120mm entre vigas. Lámina impermeabilizante interior. Acabado interior de tarima de madera e.14mm y suelo alicatado en baños. Transmitancia térmica total de forjado sobre cámara sanitaria U: 0.23W/m2ºC. Transmitancia térmica de forjado de cubierta U: 0.24W/m2ºC.

Paredes módulo - entramado de montantes de madera 45x95mm (45x185 en pared de fachada) cada 600mm y refuerzos horizontales 45x95mm. Conexión de elementos mediante



BoKlok i Mâlev, Dinamarca.



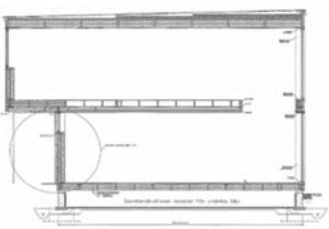
BoKlok i Sophienborgbo, Hillerød, Dinamarca.



39 viviendas BoKlok en Mâlev, Dinamarca.



BoKlok en Mâlev.
Planta de la vivienda y sección constructiva.



IBM TRAVELLING PAVILION. Renzo Piano.1982-1986.

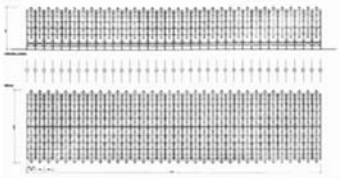
Como un equivalente moderno del circo, el pabellón desmontable de IBM viajaba de ciudad en ciudad, en una flota de remolques especialmente diseñados y perfectamente identificables. En lugar de mostrar las proezas físicas de hombres y animales, la exposición que el pabellón albergaba, destinada de igual modo a un público joven (de todas las edades), mostraba las capacidades más intelectuales y abstractas de las máquinas - los ordenadores de IBM. Además, el pabellón no se instalaba en explanadas al descubierto, sino entre los árboles frondosos de los parques del centro de las ciudades.



Construcción.

El pabellón era una original bóveda de cañón formada por pirámides de policarbonato transparente con puntales de madera conformado y uniones de metal, todo ello situado por encima de la alfombra vegetal sobre el suelo estructural planteado.

Los verdaderos precedentes del pabellón IBM eran el invernadero, tal y como se desarrolla en el siglo XIX, y el contemporáneo pabellón de exposiciones desmontable, el Crystal Palace. Al igual que ocurría con éstos, su transparencia y pureza formal fueron acompañados por la repetición de componentes idénticos. En este caso, sin embargo, muchos de los componentes eran de una escultórica forma biomórfica, alguno de ellos tallados en madera.



El pabellón también difiere notablemente de las estructuras anteriores de Piano, tanto en la variedad de los materiales utilizados en una sola obra como en la celebración de la "artesanía". En lugar de la insustancialidad de sus primeras estructuras, los puntales de madera y sus juntas de fundición de aluminio tienen una presencia sensual táctil que invita a la mano del visitante.







Por lo tanto la madera y las "piezas" de aluminio no sólo dan calidez y carácter a la estructura, sino que también se convierten en intermediarios entre la construcción y el lugar, y entre el edificio y el visitante, creando una relación mucho más íntima que en cualquier otra trabajo anterior de Piano.





El precedente más inmediato del pabellón en la obra de Piano es el Fiat X1/5 Experimental Car. Fue allí donde él y sus colegas se familiarizaron con los nuevos plásticos, como el policarbonato, y con los nuevos adhesivos que pudieran unirlos directamente a otros materiales como el metal, una técnica utilizada aquí para unir los vértices y las bases de las pirámides de policarbonato con el









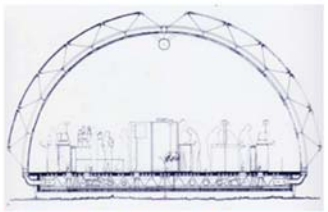
IBM TRAVELLING PAVILION. Renzo Piano.1982-1986.

metal. El adhesivo también se empleo en las uniones de empalme múltiple ("finger-joint") entre la madera y el aluminio fundido. Existía el deseo de explorar la combinación de varios materiales, de éstos en particular, que generaban desde un principio el diseño.

El pabellón era esencialmente una bóveda transparente, de 48 metros de largo por 12 metros de ancho y 6 metros de altura, compuesta por 68 medios arcos (formando 34 arcos triarticulados). Cada uno de ellos constaba de seis pirámides de policarbonato que se mantenían unidas por puntales de madera laminada con juntas de aluminio fundido. Los medios arcos eran, de hecho, armazones tridimensionales, con el policarbonato funcionando como membrana de revestimiento y como red estructural entre los cordones interior y exterior.

A pesar de que el doble uso estructural y de revestimiento que proponía Piano para el policarbonato resultaba ser ingeniosa y conceptualmente elegante, le presentó a Peter Rice un complicado problema de ingeniería, ya que los coeficientes de dilatación del policarbonato, de la madera y del metal son muy diferentes. Sin embargo, la eventual solución ideada para asumir estas dilataciones diferenciales era sencilla: un perno de separación entre la base de la pirámide y el cordón inferior de la viga en el que se monta en el elemento flexible de aluminio fundido que conectaba puntales de madera consecutivos.

El diseño original se había propuesto de arcos completos con juntas de ranura en el que las terminaciones de aluminio de cada puntal se deslizaban en un disco de aluminio. Aunque esta solución era conceptualmente tan elegante como la de articulaciones individuales, que por otro lado podrían haber sido demasiado dominantes, esta primera solución habría dado como resultado módulos que no fueran fácilmente desmontados y transportados. El arco completo era demasiado grande para ser manipulado, y el montaje individual de cada una de las pirámides resultaba demasiado laborioso. Por estas y otras razones estructurales se optó por la solución del medio arco, que daba como resultado una gran unidad que podría ser desmontada rápidamente y sin embargo fácilmente manipulada por un par de trabajadores. Estos medios arcos también podían ser apilados unos contra otros para facilitar su transporte en los 18 remolques especialmente diseñados, dos de los cuales siempre mantuvieron en funcionamiento el pabellón. Una contenía la computadora









PABELLÓN ITINERANTE
IBM TRAVELLING PAVILION. Renzo Piano.1982-1986.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Jaén
OTRAS CONSTRUCCIONES DESMONTABLES.

IBM Travelling Pavilion. Renzo Piano.1982-1986. (Continuación).

central, y el otro, el aire acondicionado y otras instalaciones eléctricas.

Una vez levantado en un nuevo lugar, un proceso que normalmente duraba tres semanas, un equipo de simulación se encargaba de realizar las mediciones de luz exterior y de las condiciones térmicas, teniendo en cuenta la orientación del pabellón, la posición de la sombra de los árboles, etc. Esto determinaba la posición exacta en la que se debían colocar los elementos piramidales opacos, que se montaban dentro de los transparentes, y de las pantallas de malla. Ambos controlaban los reflejos y las cargas de calor. En un momento dado se consideró el empleo de pirámides de doble piel con gas opaco o fotosensible para protegerse del calor, una idea que ya se había propuesto anteriormente, pero que nadie había conseguido hacer funcionar hasta el momento. Durante los periodos fríos, la condensación en las pirámides se prevenía con el soplado de aire caliente sobre éstas desde boquillas idénticas a las utilizadas en las aeronaves y acopladas en pequeños conductos que se ramificaban a partir de cualquiera de los lados de un gran conducto que corría a lo largo del pabellón, suspendido de las articulaciones centrales de los arcos. Otros conductos de aire acondicionado así como el cableado se alojan dentro del canto estructural del suelo que era levantado y nivelado con gatos.

Durante tres años el pabellón visitó 20 ciudades de 14 países europeos. El gran éxito del pabellón llevó a IBM a encargar el diseño de uno más pequeño, el IBM Ladybird Pavilion (1986), que no llegó a construirse. Formado de nuevo con piezas de madera laminado y uniones de aluminio fundido, no sólo era transportable, sino también plegable, inspirado en el movimiento de las alas de las aves. La combinación de aluminio fundido y de un material natural, esta vez bambú, volvería a repetirse de nuevo en la propuesta para el concurso de Jules Verne Leisure Park en Amiens.

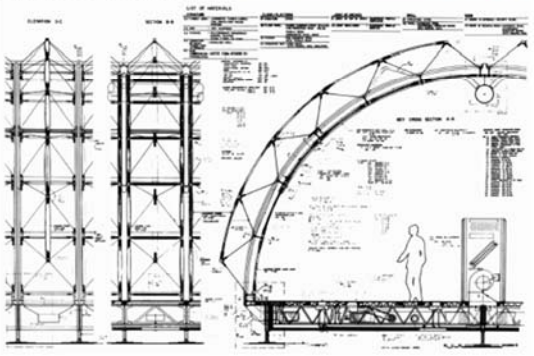












PABELLÓN ITINERANTE
IBM TRAVELLING PAVILION. Renzo Piano.1982-1986.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Jaén
OTRAS CONSTRUCCIONES DESMONTABLES.

PROJECT XX. Past ter Avest Architecten.1999.

"Project XX" es un edificio experimental de oficinas diseñado desde el principio para ser sostenible. Está situado en Delft, Netherland.

Los enfoques convencionales de la construcción sostenible suelen estar relacionados con edificios longevos cuyo ciclo de vida económico debe ser de 50-60 años. A diferencia de la enfoque convencional de la construcción duradera que se centra en la larga duración de las construcciones y sus materiales, Project XX se centra en corto ciclo de vida de la construcción (20 años). Eso significa que, o bien todos las partes del edificio durarán 20 años, o serán fácilmente desmontables de nuevo en componentes y reciclados o reutilizados en nuevas combinaciones después de 20 años. Nos podríamos preguntar si este enfoque conlleva construir edificios de menor calidad con materiales de menor calidad. La respuesta a esta pregunta la podemos encontrar en las palabras del arquitecto Jouke que describe la estrategia de realización de Project XX a través de la categorización de todos materiales en tres grupos:

- El primer nivel son los elementos que podrían durar 19,5 años y permanecer en perfectas condiciones.
- El segundo son elementos, que podrían ser fácilmente reutilizados, y
- El tercer nivel son los materiales que se podrían recuperar y proceder a reciclar.

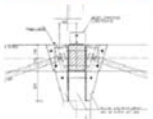
Construcción.

Cimentación - de acuerdo con la primera propuesta el edificio debía descansar sobre pilastras de acero que podrían ser fácilmente hincadas en el terreno, pero más tarde por razones económicas la elección final se realizó con cimentación de hormigón (en la que el hormigón está compuesto de 20% de árido reciclado).

Estructura - una de las principales características de este edificio es su esqueleto estructural que está hecho de madera y acero. Las decisiones de recurrir a la madera como material estructural se tomaron tras el análisis de otros materiales estructurales tales como acero, aluminio, hormigón, piedra, materiales sintéticos y cartón. Los materiales fueron analizados en relación con su durabilidad, resistencia, sus costes , el potencial de reciclaje y la experiencia general del trabajo con ellos. Después del análisis realizado por ABT, la madera demostró reunir las mejores condiciones.

El esqueleto del edificio está realizado con madera laminada "Swedism LVL" con pilares 30x30x350 cm en planta baja y 20x20x350 cm en la primera, y vigas reforzadas con barras de acero en su















EDIFICIO DE OFICINAS
PROJECT XX. Past ter Avest Architecten.1999.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Jaén
OTRAS CONSTRUCCIONES DESMONTABLES.

PROJECT XX. Post ter Avest Architecten.1999. (Continuación).

parte inferior. La estructura se rigidiza con arriostramientos en la planta baja, primer piso y en el techo. El uso de madera prensada en vacio ha reducido el uso de materias primas en un 25%.
Los elementos que se utilizan para conectar los columnas y vigas son: placas de acero, pasadores de acero y pernos.
Suelos – el suelo de la primera planta consta de paneles sándwich de madera (600x500cm) rellenos de arena. El aislamiento acústico se resuelve mediante la introducción de una gruesa capa de arena y 1cm de fieltro, que se coloca entre las vigas secundarias y el piso superior.
El suelo de planta baja es de hormigón con un 20% de árido reciclado. Está separado del aislamiento térmico por una delgada lámina de modo que pueda ser fácilmente reemplazado y reciclado en el futuro.
Cubierta - la construcción de la cubierta es de fibrocemento con cubrición de material reciclable. La capa bituminosa, que está sólo parcialmente fijada al aislamiento térmico hace que sea también reciclable.
Fachada - la envolvente exterior es una fachada de cristal. Se eligieron triples vidrios pre-ensamblados de dimensiones 2x3.5m de "Saint Rochi" que se colocan sobre la estructura de madera. Los cristales se fijan con tornillos a la estructura de fachada. Las carpinterías de fachada se anclan a elementos de acero que están unidos a la estructura principal. Esto hace que la fachada sea independiente de la estructura principal. Al mismo tiempo la parte superior de los marcos se atornillan a los paneles de piso de la primera planta. Esto significa que los cambios en el suelo pueden afectar la fachada.
La fachada de cristal, los tubos de cartón de ventilación y las protecciones solares, situados dentro de unos 44cm de distancia medidos desde la estructura de madera de fachada hacia el interior, se integran en una llamada "fachada climática". Esta fachada climática, desarrollada por Lejendeckers, supone un importante ahorro de energía.
Instalaciones - todos los conductos horizontales de acondicionamiento de aire están hechos de cartón y sujetados a los perfiles en T que están conectados a los paneles de piso. Los conductos para las instalaciones eléctricas y los agujeros para la fontanería vienen prefabricados de fabrica en los paneles de suelo.









EDIFICIO DE OFICINAS
PROJECT XX. Post ter Avest Architecten.1999.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Jaén
OTRAS CONSTRUCCIONES DESMONTABLES.

PILA PETITE -sistema-. 2004 - 2013.

PILA Petite es un sistema que emplea barras conectores y nudos, unidos mediante tornillos. Forma parte de los sistemas de arquitectura modular de Burkhardt Leitner constructiv, y se caracteriza por su flexibilidad, aplicación de los principios de la construcción modular y su amplio gama de accesorios y posibilidades de uso. Puede utilizarse de forma flexible en todos los ámbitos de la arquitectura temporal, bien en feria, exposiciones, tiendas o aplicaciones para oficinas. Es simple y fácil de montar, con principios básicos que aceleran mucho el tiempo de montaje y desmontaje. Gracias a la reducción de los componentes a los estrictamente esenciales, el uso de materiales reutilizables de alta calidad y a su facilidad de uso, se consigue el control de los recursos económicos y el equilibrio ecológico.

Construcción.

Estructura - está formada por la interacción constructiva de los conectores, los soportes y los elementos estáticos. Como elemento más esencial el conector es responsable de la estabilidad, flexibilidad, y de las posibilidades de materiales y uso. Las barras, como elementos estáticos, están unidas a los nudos y absorben la tensión de los elementos. Diseñados para un fácil ensamblaje, las barras se unen al nudo mediante un tornillo garantizado contra la torsión. El conector básico es acero inoxidable fundido, muy resistente. Los soportes son perfiles de aluminio con superficie anodizada al natural. En el caso de estructuras complejas los soportes se complementan con barras diagonales, trusses y refuerzos angulares, todos de fácil montaje. Cada uno de los soportes dispone de cuatro ranuras en las que pueden encajarse los diferentes partes del sistema utilizando suplementos.
Paneles - se encuentran disponibles de manera estándar en aluminio, acrílico, madera revestida y materiales ligeros. Los paneles pueden ir unido a la estructura en varios niveles: integrado en los ejes, al nivel de la estructura o por el exterior. Las mamparas en algunos casos asumen la función estructural de las barras diagonales. También existen paneles de vidrio, textiles y puertas (correderas y batientes).
Suelos - los suelos son un componente integral del sistema, permitiendo una completa utilización de éste. No solo incluye conectores, a los que se unen directamente los soportes, sino también elementos para mamparas que quedan enrasados con el suelo. Dependiendo de la disposición, se ofrecen paneles de suelo exteriores, rejillas o cuentas.

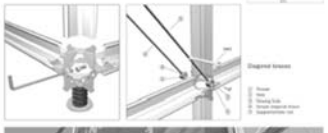




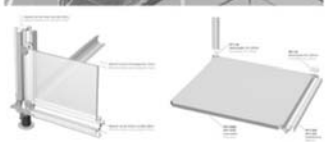














También se ofrecen soluciones integradas de iluminación y de almacenaje.
El sistema presenta algunas limitaciones para su uso en exteriores.

PABELLONES TEMPORALES
PILA PETITE -sistema-. 2004 - 2013.
Materiales, sistemas y optimización energética. Prof: Enrique Azpilicueta Astarloa. Alumna: Paula Jaén
OTRAS CONSTRUCCIONES DESMONTABLES.