



**EL HORMIGÓN**  
**MATERIAL VERSÁTIL**  
**PERSPECTIVAS DE FUTURO**

**María José Quintana García**

**TUTORES:**

**Eduardo Zurita Povedano**  
**Rafael de Lacour Jiménez**

# EL HORMIGÓN

## MATERIAL VERSÁTIL

### PERSPECTIVAS DE FUTURO

TRABAJO FINAL DE GRADO  
María José Quintana García

TUTORES: Eduardo Zurita Povedano  
Rafael de Lacour Jiménez  
Julio 2020

DPTO. CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Escuela Técnica Superior de  
Arquitectura de Granada

## PRÓLOGO

Desde las primeras sociedades, el ser humano ha dado lugar a una gran variedad de construcciones, valiéndose, en cada época, de los materiales que disponía. Con el paso del tiempo y la evolución de estas sociedades, las necesidades de las mismas han ido cambiando y complejizándose, dando origen a nuevos materiales y abandonando el empleo de muchos otros. Sin embargo, cabe destacar uno de ellos que, gracias a su capacidad de adaptación y respuesta a las demandas constructivas de cada época, ha perdurado desde sus orígenes, en torno al 3000aC, hasta nuestros días: el hormigón.

Su primer apogeo llega en época romana, convirtiéndose en el material predilecto de la misma, que permitió la realización de una gran cantidad de obras de difícil concepción en ese momento. Esto se debe principalmente a su comportamiento mecánico, similar a la piedra, pero con la cualidad de presentarse como fluido en su fase inicial, lo que supuso una gran mejora en los procesos constructivos del momento.

El otro gran salto en la evolución del material, tiene lugar con la llegada de los procesos industriales, que dio lugar al hormigón armado, resultante de incorporar barras de acero en su interior. De este modo, el hormigón pasa de responder únicamente a compresión, a ser capaz de resistir a flexión, abriendo la puerta a una infinidad de posibilidades formales, técnicas y estéticas de las que el Movimiento Moderno hará

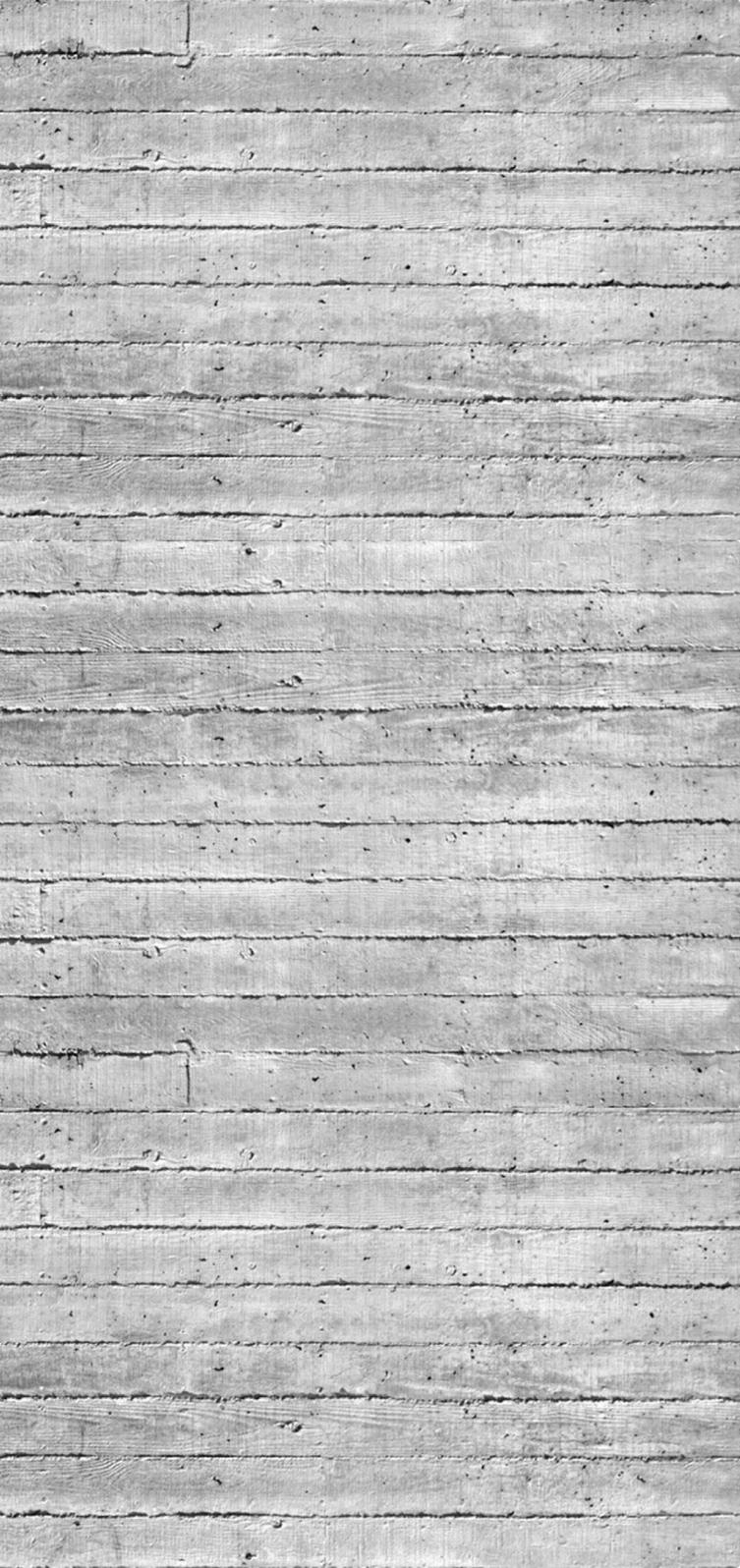
uso, adoptándolo como material por excelencia, contribuyendo con ello a su gran expansión y desarrollo.

Actualmente, las nuevas demandas sociales van dirigidas hacia la necesidad de un futuro sostenible, situando al hormigón en el punto mira como elemento contaminante y, dando lugar al que posiblemente conforme la siguiente muesca en la evolución del hormigón.

Por ello, nos encontramos en un momento crucial para dicho material, en el que existe toda una línea de investigación completamente abierta en búsqueda del “hormigón sostenible”.

## INDICE

0. Introducción .....	4
1. Objetivos .....	6
2. Metodología y estructura.....	8
I. Historia del uso del hormigón .....	12
I.1 Evolución del hormigón. ....	14
I.2 Avances tecnológicos. ....	20
II. Potencialidades arquitectónicas de la obra en hormigón .....	26
II.1 Forma. ....	28
II.2 Textura. ....	38
II.3 Color. ....	48
II.4 Técnica.....	58
III. Reflexiones sobre nuevos sistemas con hormigón .....	68
III.1 Sistemas prefabricados .....	70
(GRC y otros).....	70
III.2 Sistemas mixtos.....	80
III.3 Sistemas de múltiple pared de hormigón armado.....	90
III.4 Hormigón translúcido. ....	100
IV. Gráficos y análisis de resultados .....	110
IV.1 Gráficos. ....	112
IV.2 Análisis de resultados.....	116
V. Influencia del hormigón en el cambio climático y nuevos hormigones.....	120
VI. Conclusiones y posibles líneas de investigación.....	128
VII. Créditos de ilustraciones y bibliografía.....	134
VII.1 Bibliografía. ....	136
VII.2 Créditos de las ilustraciones. ....	144



# 0. Introducción

1. Objetivos
2. Metodología y estructura.

## 1. Objetivos

El propósito inicial de este trabajo nace como consecuencia a la situación actual del hormigón, en un momento en el que la sociedad se encuentra en una fase de cambio y adaptación en pos de un planeta más sostenible. El hormigón desenvuelve un papel fundamental en esta situación, dado su gran consumo y emisiones en su producción, por lo que su capacidad de respuesta a las nuevas exigencias de sostenibilidad genera muchas inquietudes.

*“lo que más consume el hombre después del agua es hormigón”<sup>1</sup>.*

A lo largo de su extenso recorrido, el hormigón ha sabido adaptarse a en función de la demanda constructiva de cada época, lo que le ha permitido llegar hasta nuestros días y, consolidarse como el material más versátil que se conoce en la actualidad.

Por ello, se indagará en las reinenciones o saltos de concepto o técnica por los que ha ido pasando este material, para finalmente, asentar una base de conocimiento, a partir de la que se pueda reflexionar sobre las nuevas posibilidades de transformación del hormigón hacia una situación más sostenible.

---

<sup>1</sup> Fernández Cánovas, M. (1993). *Hormigón*. 3ª ed. Madrid : Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos

En un segundo nivel, de forma casi intrínseca en el primer objetivo, aparecen otros propósitos secundarios, en los que, aprovechando el proceso de análisis del hormigón, atendiendo a su capacidad de respuesta hacia determinados aspectos, se profundizará con la intención de sacar en claro una serie de cualidades o características de este material, que lo confirman como el más polivalente que se conoce, aprovechando el trabajo, para dar a conocer algunas de las posibilidades que ha planteado en el pasado y en la actualidad.

## 2. Metodología y estructura

Para cumplir con los objetivos marcados, el trabajo realiza un recorrido por la evolución del hormigón, con una breve introducción histórica que, dejando de lado aspectos como las distintas corrientes estilísticas, sirva como punto de partida para entender su procedencia y funcionamiento.

Una vez asentado lo anterior, se procederá al cuerpo central del trabajo, abordando el estudio de los saltos evolutivos del hormigón como elemento que se ha reinventado para dar respuesta a distintos requerimientos. Con esto se pretende entender, como este material ha conseguido ir transformándose constantemente en su composición, modos de empleo, distintas técnicas, etc.... todo ello de la mano de grandes arquitectos y proyectos que han sabido innovar en diferentes aspectos.

Tras realizar un recorrido por los periodos y corrientes más representativas del empleo del hormigón, se realiza una selección de las obras más destacables en cuanto al empleo que han hecho del mismo atendiendo a distintas cuestiones. Se analizarán por ello, obras de gran reconocimiento como el Crematorio de Kakamingahara de Toyo Ito; La Capilla de Campo Bruder Klaus de Peter Zumthor; la Casa Das Historias Paula Rego de Eduardo Souto de Moura; y el Centro de Estudios Hidrográficos de Miguel Fisac, entre otras tantas citadas que aluden a aspectos similares. Cabe destacar, que muchas de estas obras no son necesariamente las primeras en dar un salto en la utilización del material, para conseguir una forma revolucionaria imposible de realizar has-

### Estructura

#### Documentación histórica.

Se realiza una búsqueda de información para conocer la historia del hormigón desde sus inicios hasta la actualidad, pasando por todas las etapas y grandes avances tecnológicos impulsados por las necesidades de la sociedad de cada momento.

#### Documentación arquitectónica.

Se recopilará una serie de obras arquitectónicas de gran valor realizadas con hormigón, comprendidas principalmente desde mitad del siglo XX hasta la actualidad y, pertenecientes a distintas corrientes y estilos, elegidas no solo por su valor proyectual, sino también, por su respuesta ante determinados aspectos. Se hará uso de estas obras para explicar el comportamiento del hormigón en varios casos.

#### Clasificación de los aspectos.

Se proponen cuatro aspectos esenciales del hormigón: forma, color, textura y técnica, además, de cuatro sistemas innovadores que han solventado algunos de los problemas que planteaba el hormigón con respecto al comportamiento térmico y mejora del tiempo en sus procesos constructivos. Cada arquitectura estudiada hace uso de uno o varios de estos aspectos para transmitir las distintas sensaciones que quiere expresar la arquitectura, además de poder combinar algunos de los sistemas para obtener un resultado que se adapte mejor a los requisitos actuales.

ta el momento de su construcción, por ejemplo, pero son los más representativos o revolucionarios en sus correspondientes campos, aportando así una información más completa de las nuevas posibilidades y respuestas que planteaba el hormigón en su nueva reconversión.

A continuación, se hará un repaso por los sistemas más nuevos o actuales, responsables quizás de los últimos cambios conceptuales del hormigón, como el GRC (Glass Reinforced Concrete), Sistema de Doble Pared de Hormigón, Hormigón translúcido o sistemas mixtos.

Una vez analizados los distintos aspectos del hormigón y sus potencialidades, se hará una reflexión sobre el tema que, quizás, es el principal responsable de este trabajo, el cambio climático y los aspectos de sostenibilidad relacionados con el hormigón.

A modo de conclusión, se pretende realizar una comparativa de los elementos analizados, atendiendo a la utilización que han hecho del material en sus diferentes facetas, con la intención de realzar cual podría ser la obra que aglutina y representa el mayor número de cualidades del hormigón. Se hablará de las líneas de investigación que se están siguiendo con respecto a los nuevos hormigones, para, por último, reflexionar sobre las posibilidades del hormigón ante la situación actual y su posible reinención o adaptación.

**Selección arquitectónica.**

Se hará una preselección de cuatro obras que representen cada uno de los aspectos, para finalmente analizar más a fondo una de ellas y, entender las singularidades del hormigón que lo hacen novedoso o diferente, ya sea en cuestiones de su composición o su utilización.

**Cuantificación de los aspectos.**

Una vez explicadas las obras estudiadas, se valorará la respuesta de cada una de ellas en relación a los cuatro aspectos propuestos.

**Comparativa y línea de tiempo.**

Posteriormente se comparará los resultados mediante una tabla en la que se podrán observar cuales de las obras estudiadas ha sacado el máximo partido a este material. Así como la realización de una línea temporal en la que se podrá visualizar los distintos periodos o etapas de mayor desarrollo de cada uno de los aspectos analizados.

**Documentación de la problemática actual.**

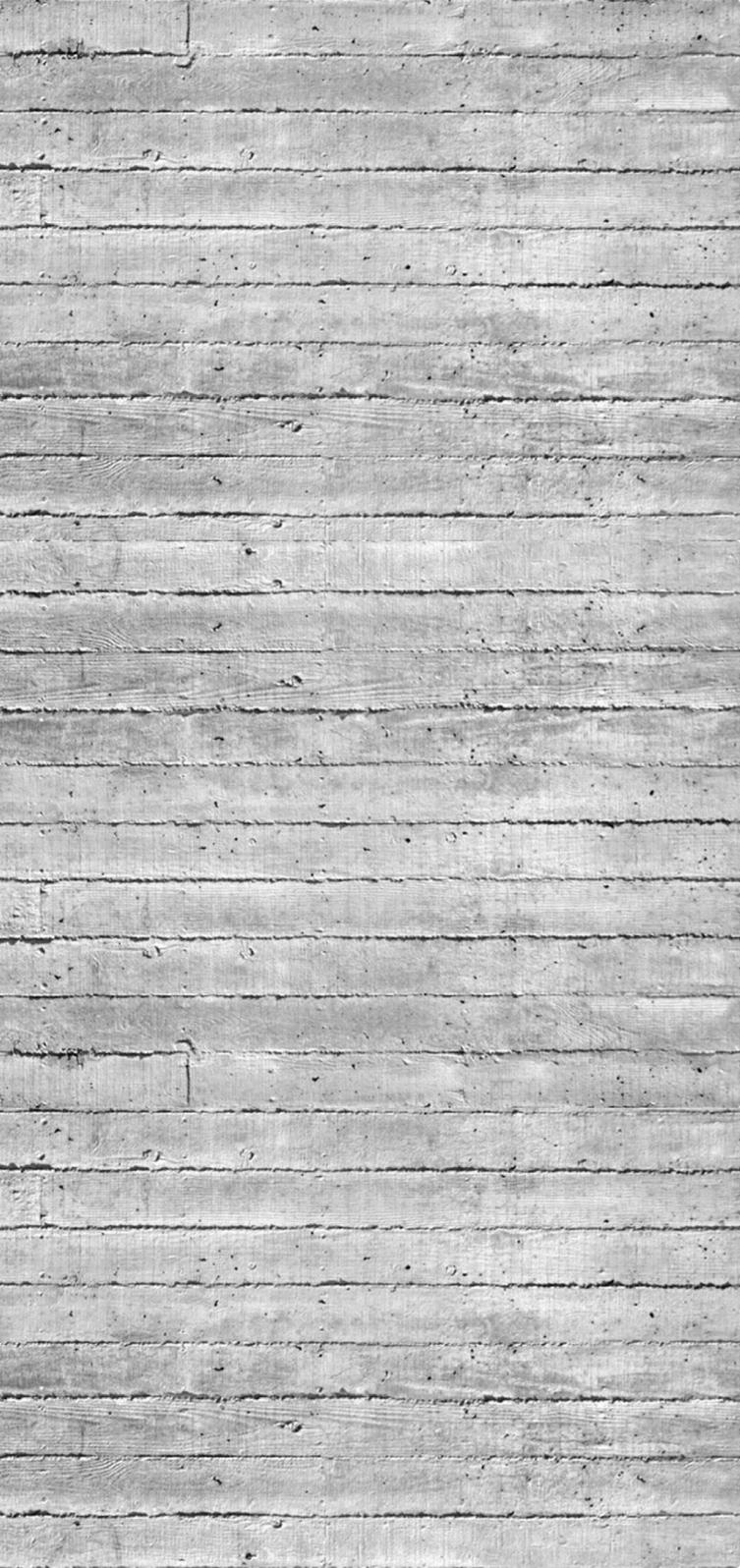
Dada la direccionalidad de este trabajo, hacia una situación de reflexión ante la capacidad de respuesta del hormigón como material sostenible, se realiza un planteamiento de la problemática actual basada en el cambio climático y, la influencia del hormigón en este como material contaminante.

Se aprovecha este apartado para realizar una aproximación hacia los primeros hormigones

que han surgido como posible respuesta a estas cuestiones.

**Conclusión.**

Finalmente, se plantearán algunas de las nuevas líneas de investigación existentes al respecto y, se reflexionará sobre las posibles vías de las que dispone el hormigón para evolucionar hacia un material más sostenible.



# I. Historia del uso del hormigón

I.1 Evolución del hormigón.

Panteón de Agripa

I.2 Avances tecnológicos.

## I.1 Evolución del hormigón.



Fig I.1\_1

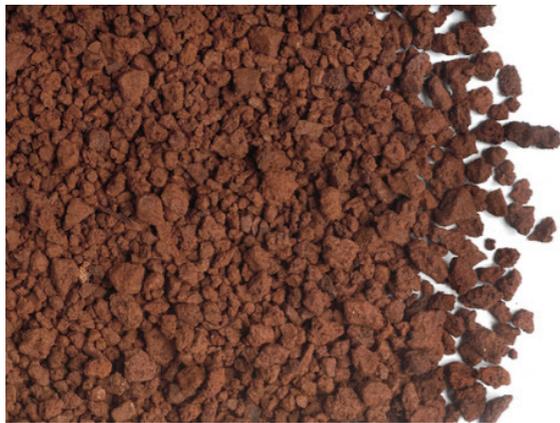


Fig I.1\_2

El hormigón es un material que ha ido evolucionado y no siempre ha estado compuesto por los mismos materiales que se conocen hoy en día, lo más correcto es pensar que antes de llegar a su estado actual, ha pasado por multitud de variaciones.

A pesar de todas las modificaciones y cambios sufridos uno de los elementos que componen el hormigón ha permanecido invariable; las rocas. Sin embargo, la mezcla con las que se consolidaba, el conglomerante, ha ido evolucionando y cambiando según la localización y cronología pasando por la cal, puzolanas, cementos naturales....

En la época del 3.000 a.C en el norte de Chile se puede comprobar que ya existía un hormigón muy rudimentario, realizando las construcciones con un conglomerante a base de algas calcinadas (huiro) mezclada con agua de mar. Esto se complementa paralelamente con el dato de que en la época del 2.500 a.C los egipcios utilizaron como conglomerante un mortero de cal y yeso en las construcciones de las pirámides de Giza.

Uno de los mayores descubrimientos lo realizaron los Romanos de Puteoli, hoy conocido como Pozzuoli. Los cuales mezclaron las cenizas volcánicas procedentes de su entorno con cal viva, dando a conocer el cemento de puzolana.

Esta mezcla se convirtió en el material de construcción por un largo periodo de tiempo, dando lugar a grandes obras conocidas actualmente.

Durante este periodo la combinación de cal viva y cenizas volantes sufrió pocos cambios hasta que, a principios del siglo XXVII, se empezó a sustituir la cal por otros componentes.

Se consideró a Vivat como el padre del hormigón debido a que, en 1817 en Francia, enunció el principio del cemento que endurece al combinarlo con agua, conocido como cemento hidráulico artificial. Este principio establecía las pautas y dosificaciones de caliza y arcilla que mezclada y molidas conjuntamente en húmedo, permitía la fabricación de un hormigón muy parecido al actual.

Joseph Aspdin en 1824 en Gran Bretaña patentó el cemento Portland compuesto por una mezcla muy similar al enunciado por Vicat. Se trataba de la calcinación de una mezcla de artificial de caliza y arcilla, pero que conseguía mejores resistencias debido a la calcinación.

El cemento Portland actual está formado por un elemento principal, el Clinker, el cual se forma por la calcinación de esta mezcla de calizas y arcillas, pero a muy altas temperaturas. Esto no fue posible hasta que en 1845 Isaac C. Jhonson logró las temperaturas suficientemente altas para Clinkerizar la mezcla. Esto dio lugar al lanzamiento de la base del cemento a escala industrial. Este nuevo cemento tenía un endurecimiento más lento, pero alcanzaba niveles de hidraulicidad y resistencias muchos más elevados consiguiendo así los cementos actuales.



Fig I.1\_3



Fig I.1\_4



Fig I.1\_5

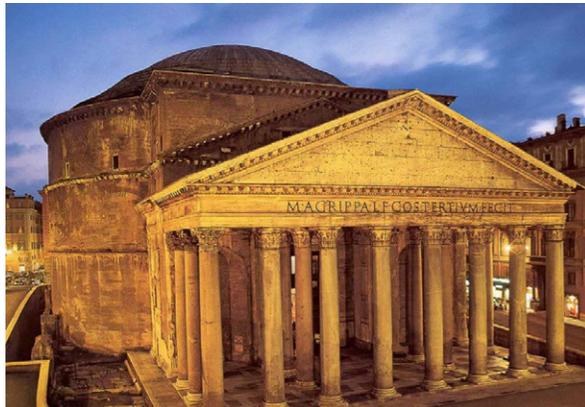


Fig I.1\_6

## Panteón de Agripa

**Roma, Italia (118-125).  
Apolodoro de Damasco.**

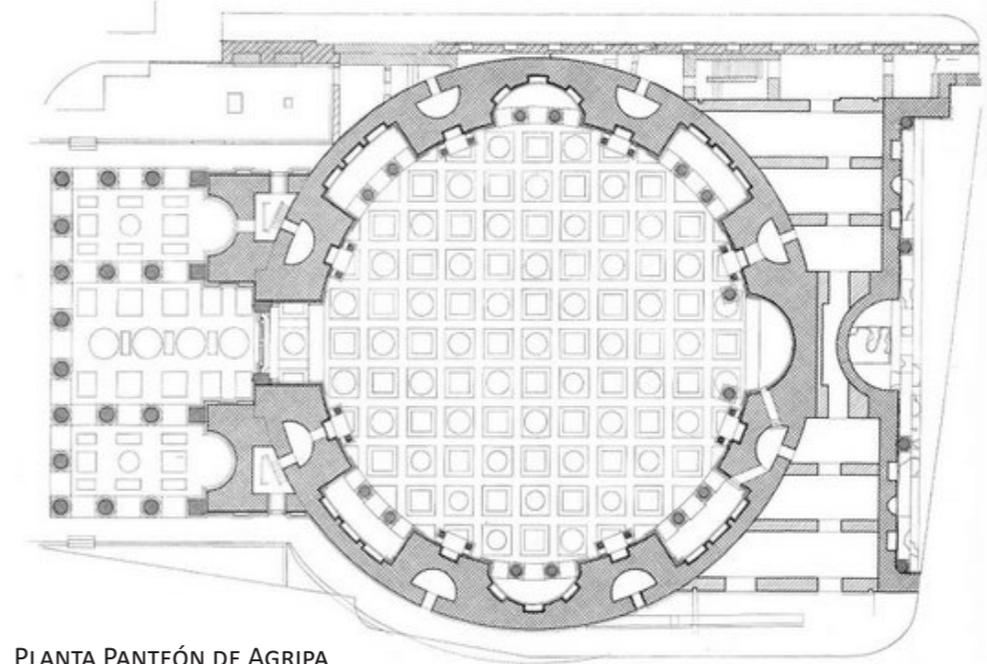
No se puede hablar del hormigón sin pensar en la mayor obra realizada en este material. Supuso un antes y un después en el conocimiento y las posibilidades que podía ofrecer este material, siendo una construcción de alarde constructivo en todos sus aspectos.

El templo que se conoce actualmente es una reconstrucción realizada por Damasco a petición del Emperador Adriano, que le mandó a construir el nuevo Panteón después de que en los años 80 el anterior templo quedara arrasado por el fuego.

La intervención de carácter integral del templo conllevó a que se cambiara su orientación, dejando la fachada principal de acceso hacia el norte, enfrentada a una plaza que precede a esta gran obra. No todo fue destruido ya que en las excavaciones de la parte posterior del templo se puede observar que emergen algunos restos del anterior templo de Agripa.

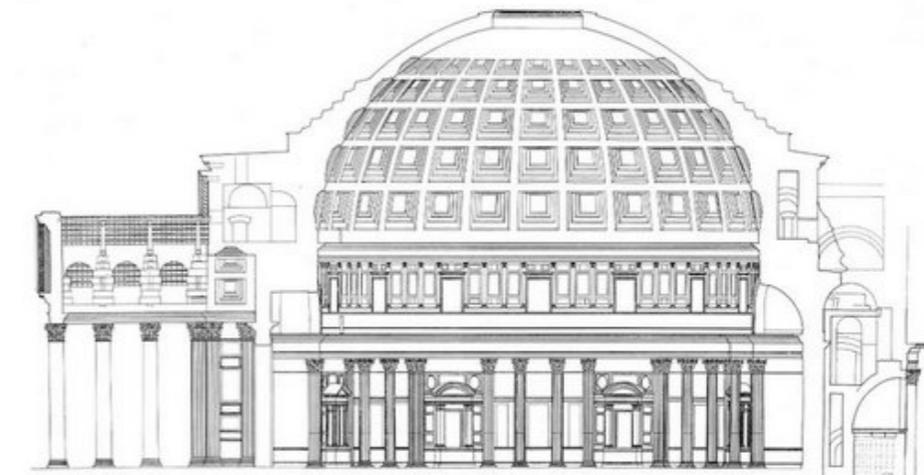
El templo se concibe como la exaltación del emperador a la divinidad, el tránsito entre el cielo y la tierra representándose en sus proporciones y estructuras, donde la gran cúpula es el mundo de los dioses y el basamento el mundo de los mortales.

El Panteón se formaliza con tres estructuras bien diferenciadas, un pronaos a modo de columnata de acceso, una rotonda cubierta por la gran cúpula que culmina con un óculo que se abre hacia el cielo, y una estructura rectangular intermedia como transición entre ambas. La luz que entra por el óculo potencia la divinidad de la obra a la vez que servía como reloj solar.



PLANTA PANTEÓN DE AGRIPA

Fig I.1\_7



SECCIÓN LONGITUDINAL

Fig I.1\_8



Fig I.1\_9



Fig I.1\_10



Fig I.1\_11

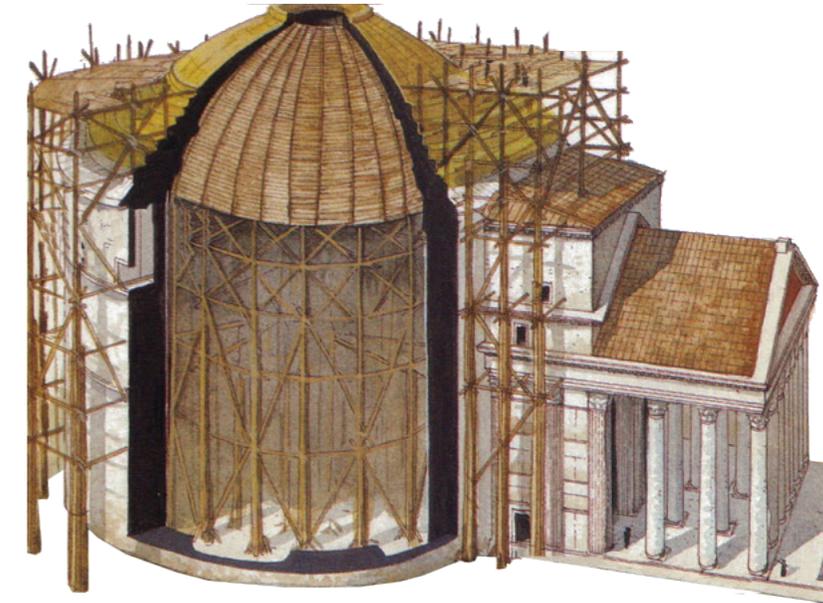
Se trata de la obra más revolucionaria en hormigón debido a la perfección técnica nunca antes alcanzada. El mayor reto era resolver los esfuerzos derivados de la cúpula tanto verticales como horizontales, debido al gran peso y dimensiones de esta (43 m de luz).

Lo llevan a cabo mediante una ilusión óptica, ya que el cuerpo cilíndrico que soporta a la cúpula queda dividido en el exterior por tres cornisas, mientras que en el interior se divide en dos partes. Esto se debe a que la cúpula arranca en realidad desde la segunda cornisa exterior, mientras que la cornisa superior coincide con el ángulo de  $51,82^\circ$  de colatitud, punto en el que las cúpulas semiesféricas contrarrestan sus esfuerzos de tracción y compresión. Para absorber los empujes provocados por la cúpula, crean un macizo correspondiente al último intervalo de cornisa, absorbiendo los esfuerzos de tracción que se generan en la parte inferior de la cúpula. Esto da lugar a que exteriormente se perciba como una cúpula rebajada, cuando en realidad se trata de una semiesfera.

Para minimizar el peso propio de la pieza, se construyó con hormigón aligerado, utilizando como árido la piedra pómez. Al mismo tiempo, se realizan una serie de casetones interiores que disminuyen la cantidad de material y le otorga una sensación de mayor altura al ir reduciendo el tamaño a medida que se acercan a la cúspide.

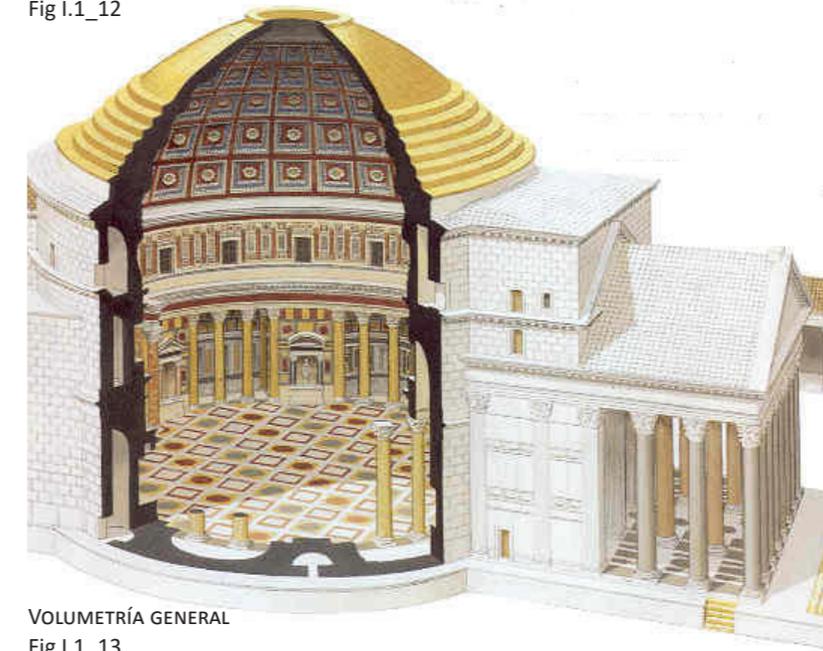
Estos casetones muestran el proceso seguido para la formación de la cúpula, realizada mediante paralelos y meridianos, obteniendo una estructura autoportante en cada fase.

El grueso del anillo murario es de opera latericia es decir, hormigón con ladrillos cerámicos. Para asegurar el aguante del peso se dispusieron además 6 gruesos pilares embutidos en el anillo, dando la oportunidad de abrir algunos espacios utilizándose como capilla.



VOLUMETRÍA CON CIMBRADO

Fig I.1\_12



VOLUMETRÍA GENERAL

Fig I.1\_13

## I.2 Avances tecnológicos.

El hormigón es un material con numerosas ventajas a la hora de construir, una de ellas es la flexibilidad en el diseño por ser un material plástico cuando se encuentra en estado fresco. La única limitación que se podría encontrar es la complejidad a la hora de hacer los moldes, hoy en día muchos arquitectos lo resuelven gracias a las impresiones 3D, como hace Zaha Hadid en algunas de sus obras.

Otras de las prestaciones del hormigón es el monolitismo en los acabados, consiguiendo de esta forma que no haya interrupciones de la continuidad del material en los nudos.

Sin embargo, como contraposición a su mayor cualidad, la gran resistencia a compresión, carece de esta a tracción. Por ello en 1845 Lambot creó en Francia una barca con alambres trenzados recubierta por cemento. La combinación de estos dos materiales abrió un nuevo camino hacia un material que mezclaba la resistencia a compresión del hormigón con la resistencia a tracción del acero. Pero hasta 1849 Joseph Monier en París, no terminó de patentar este nuevo material, conociéndolo actualmente como hormigón armado.



Fig I.2\_1



Fig 1.2\_2



Fig 1.2\_3



Fig 1.2\_4

Esta nueva combinación eliminó muchas de las limitaciones en el campo de la arquitectura, dando la posibilidad de obtener fachadas diáfanas y plantas libres. Generó una nueva corriente de la que formaba parte Le Corbusier, como se aprecia en su diseño de la Casa Dominio donde propone una estructura en la que desaparecen los muros, quedando como elementos portantes los pilares y dando lugar a espacios más livianos.

A pesar de todo esto, en los diseños arquitectónicos se proponía algunas luces incapaces de resolver con el hormigón armado, surgiendo así el hormigón pretensado de la mano del francés Freyssinet en el 1920. Consistía en aumentar la resistencia a tracción para poder salvar grandes luces, incorporando una resistencia interna a compresión que permitía compensar los sobre esfuerzos a tracción. Generalmente se realizaba introduciendo en el hormigón una armadura traccionada antes de la puesta en carga, y en sentido contrario a los esfuerzos esperados.

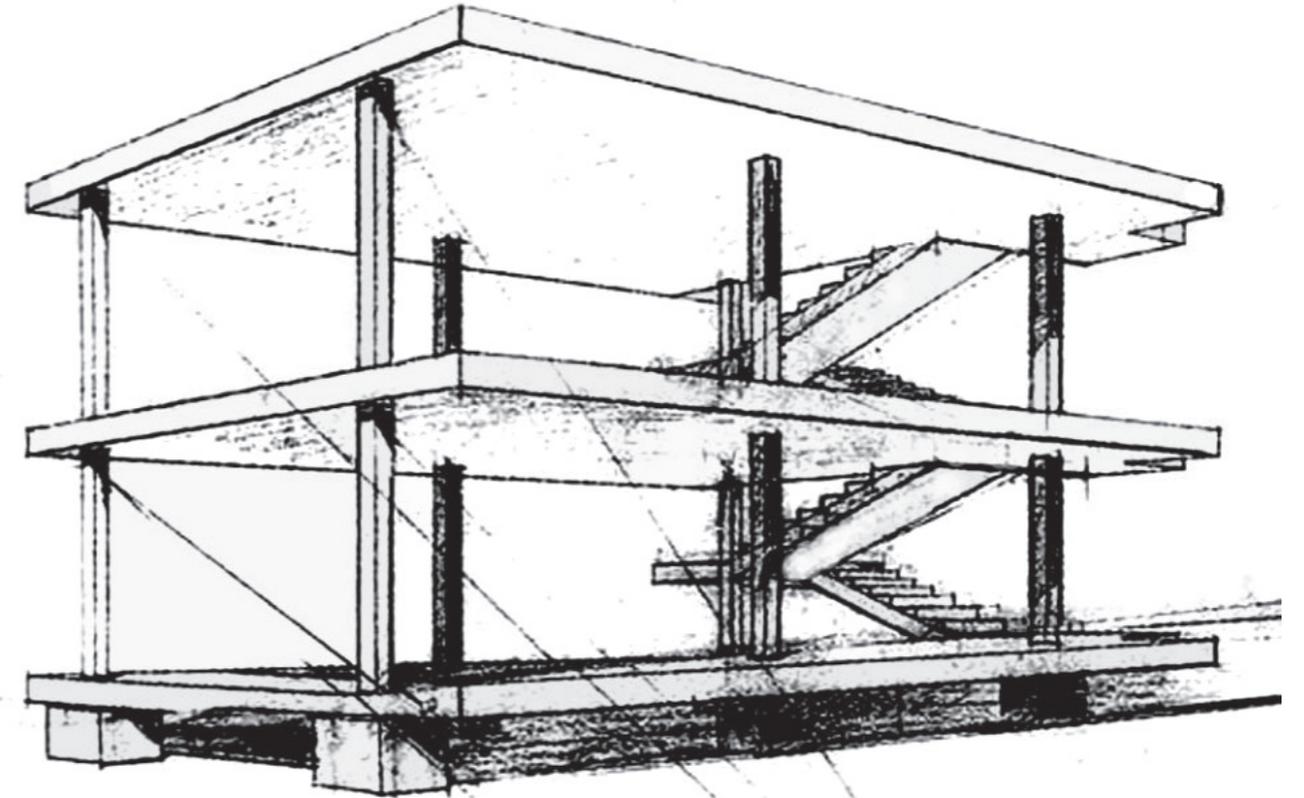


Fig 1.2\_5

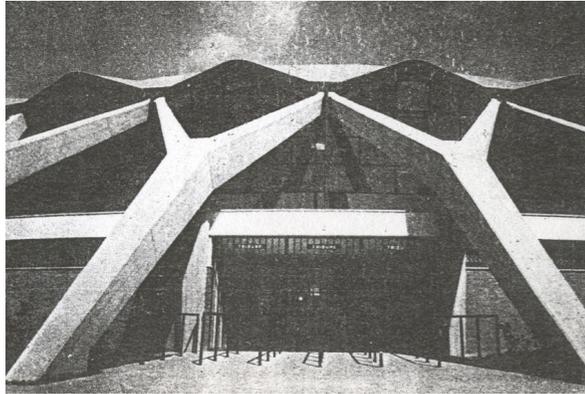


Fig 1.2\_6



Fig 1.2\_7



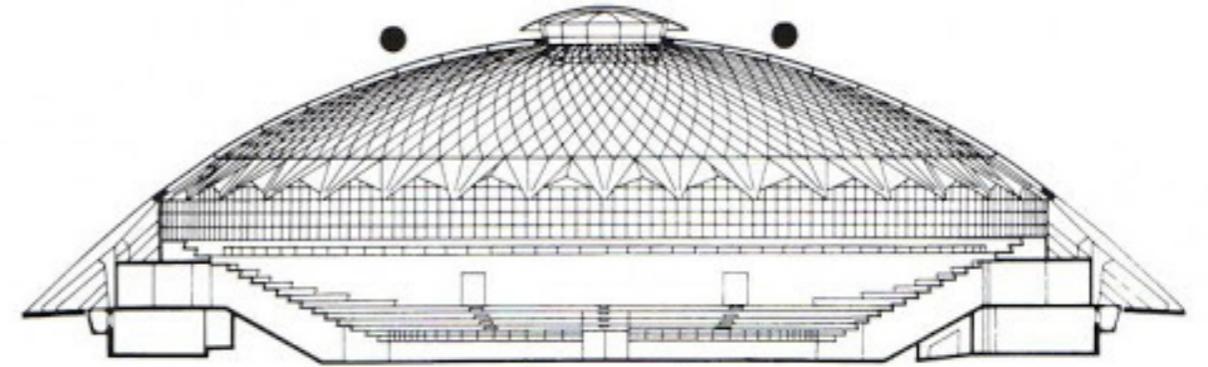
Fig 1.2\_8

La sociedad seguía avanzando, y con el aumento de la población surgió la necesidad de un material que permitiera la construcción de forma rápida y abaratando costes, desarrollándose de este modo por la década del 1950 el hormigón prefabricado. Esta manera de construir encuentra su auge gracias al italiano Pier Luigi Nervi, quien consiguió producir en serie, partes iguales de una obra dentro de una gran variedad de formas y acabados superficiales.

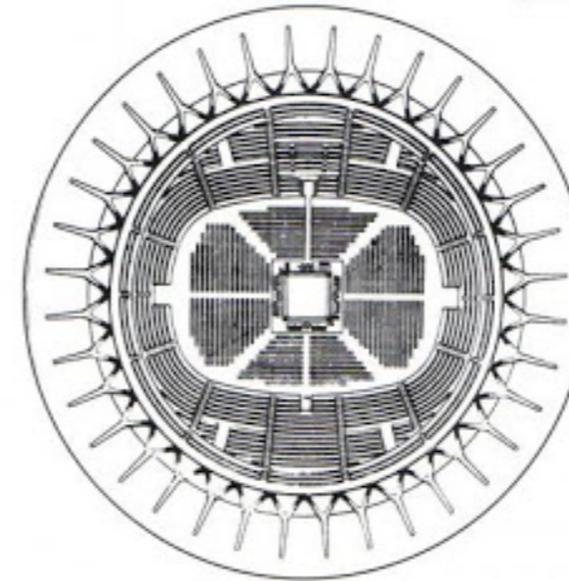
Gracias a estos avances del hormigón armado, pretensado y prefabricado se consigue generar arquitecturas que permitieran una *“gran flexibilidad en el diseño, un mayor control de costes y plazos, un íntegro control de calidad, una mayor rapidez de ejecución y montaje, gran durabilidad, resistencia al fuego, aislamiento acústico, gran seguridad en obras y la inexistencia de escombros”*<sup>2</sup>.

En definitiva, el hormigón ha ido perfeccionándose gracias a sus avances tecnológicos como respuestas a las necesidades que la sociedad le ha ido planteando.

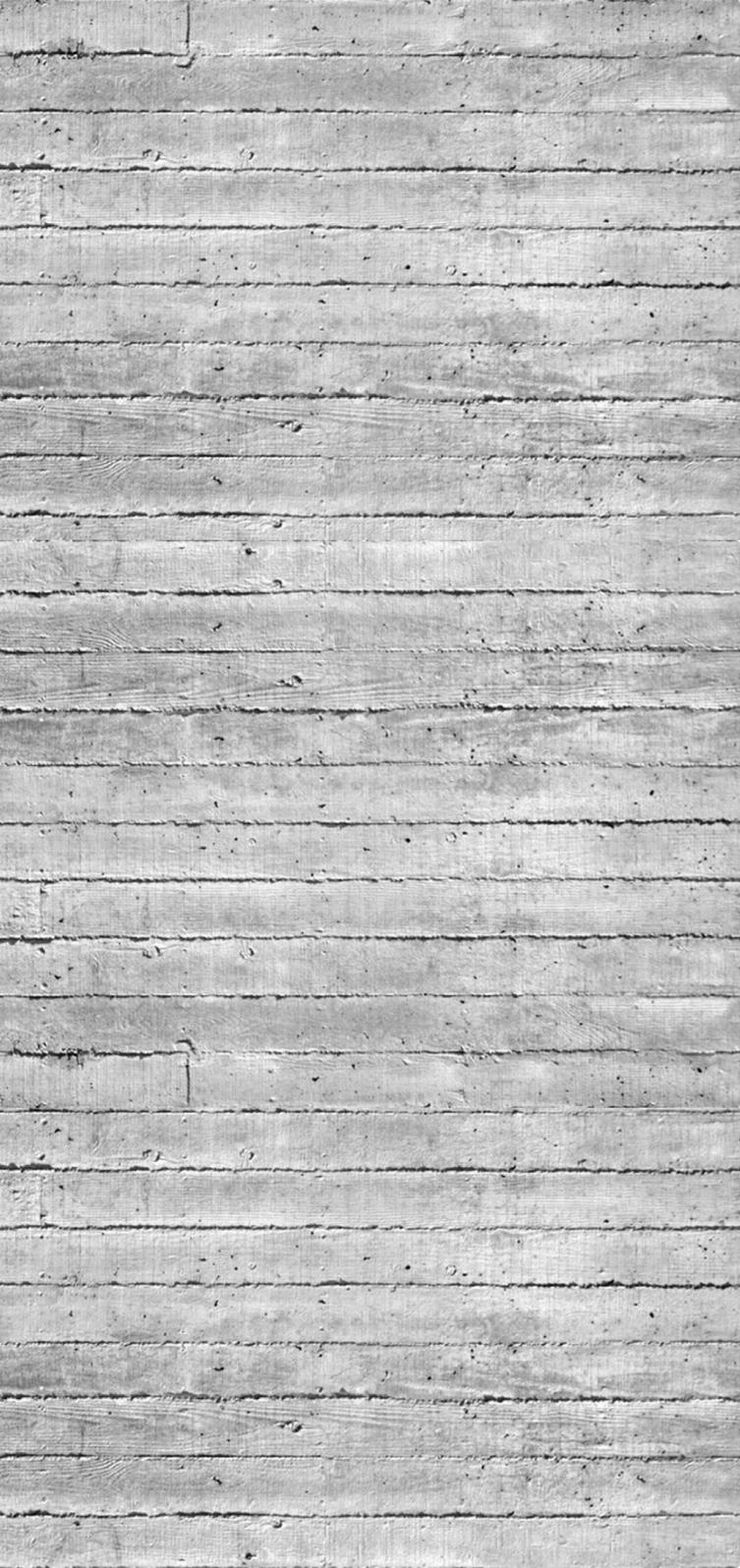
<sup>2</sup> Yepes Piqueras, V. (4-01-2017). *Los orígenes del hormigón armado*. Universitat Politècnica de València.



SECCIÓN PALACIO DE DEPORTES DE ROMA  
Fig 1.2\_9



PLANTA PALACIO DE DEPORTE DE ROMA  
Fig 1.2\_10



## II. Potencialidades arquitectónicas de la obra en hormigón

II.1 Forma.

II.2 Textura.

II.3 Color.

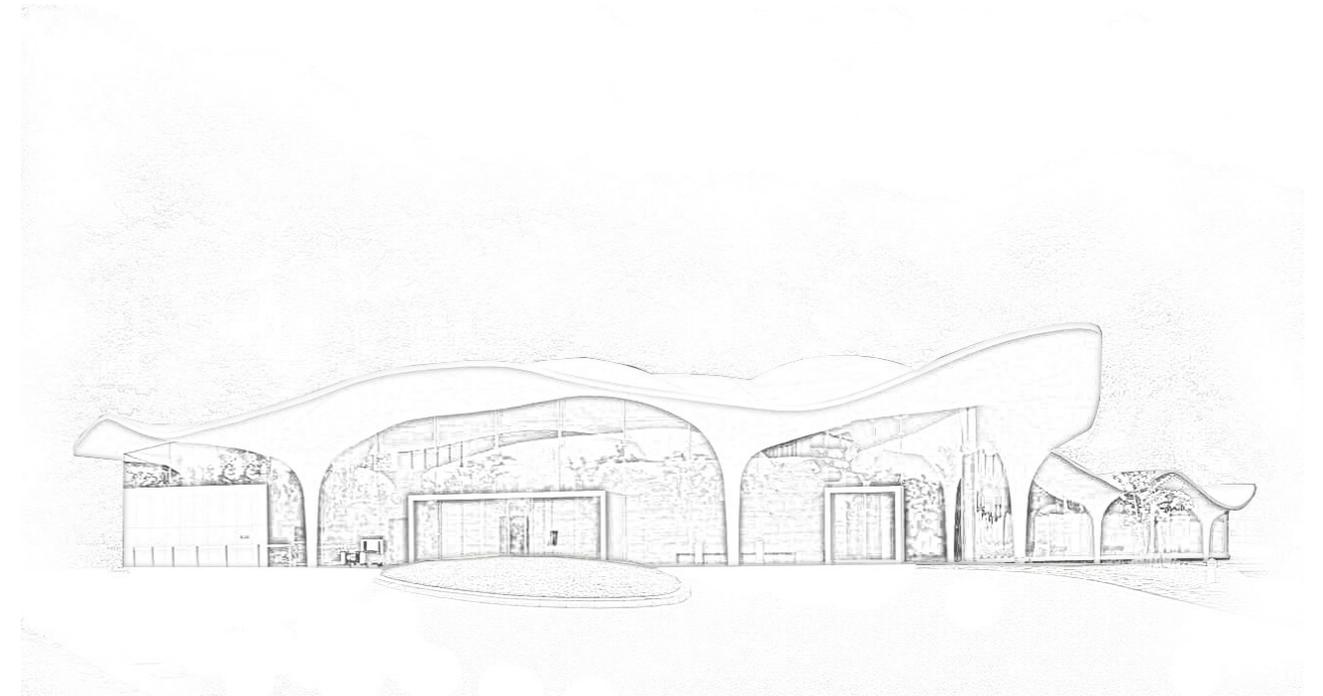
II.4 Técnica.

## II.1 Forma.

La forma es un instrumento del que hace uso el arquitecto para transmitir sus ideas a través de sus obras. No se debe entender la pieza como un volumen escultórico ajeno a todo lo que le rodea, sino como el resultando de un conjunto de ideas que se plasman mediante un proceso de técnica constructiva, dando lugar a obras arquitectónicas donde su forma tiene un significado.

El hormigón, al ser un material plástico en su estado fresco, permite moldearlo según nuestras necesidades, con la única complicación de la realización de los moldes. Hoy en día este problema se resuelve mediante impresiones 3D, con las cuales se pueden conseguir formas que eran imposibles con los encofrados tradicionales.

No solo la forma corresponde a los acabados y envolventes de los edificios, la propia estructura portante es capaz de seducir con su plasticidad gracias a las capacidades mecánicas del hormigón. En este sentido cabe destacar la Escuela Paulista, donde valoran las estructuras realizadas con hormigón visto y se muestra gran interés por las técnicas constructivas. Vilanova Artigas fue su fundador, destacando por la calidad de proyectos realizados.



CREMATORIO DE KAKAMINGAHARA.

Fig II.1\_1 *Elaboración propia.*

Algunas de las obras destacables en este aspecto pueden ser la **Iglesia Ronchamp** donde predomina el uso de la curva, llamando especial atención la cubierta. Es de gran interés la formalización de la curva de catenaria en hormigón, donde a pesar de su pesadez da la sensación de ser liviana, pareciendo flotar al dejar una separación de 10 cm entre el muro y la cubierta.

Otra de las referencias a destacar es el **Club Atlético Paulastiano** al que se le concedió el premio en la Bienal de Sao Paulo 1961, por su gran belleza plástica además de la ingeniosa arquitectura. Se formaliza a través de 6 soportes trapezoidales unidos mediante un anillo de hormigón pretensado que soporta la cubierta y la separa del suelo, dando la sensación de ligereza a pesar de estar íntegramente construido en hormigón.

La **Estación de Bomberos Vitra**, es otra de las obras que hace alarde de su forma combinando polígonos triangulares, consiguiendo el dinamismo característico de todos sus diseños. Su geometría viene dada por las intersecciones de las líneas que enmarcan el paisaje de los cultivos, las alineaciones de las calles circundantes y por la trayectoria de los vehículos que hacen uso del edificio.



**Notre Dame du Haut.**  
Ronchamp, Francia (1954).  
Le Corbusier.

Fig II.1\_2



**Club Atlético Paulistano.**  
Sao Paulo, Brazil (1958-1961).  
Paulo Medes Da Rocha, Joao De Gennaro.

Fig II.1\_3



**Estación de Bomberos Vitra.**  
Weil Am Rhein, Alemania (1991-1993).  
Zaha Hadid.

Fig II.1\_4



Fig II.1\_5



Fig II.1\_6



Fig II.1\_7

## Crematorio de Kakamingahara.

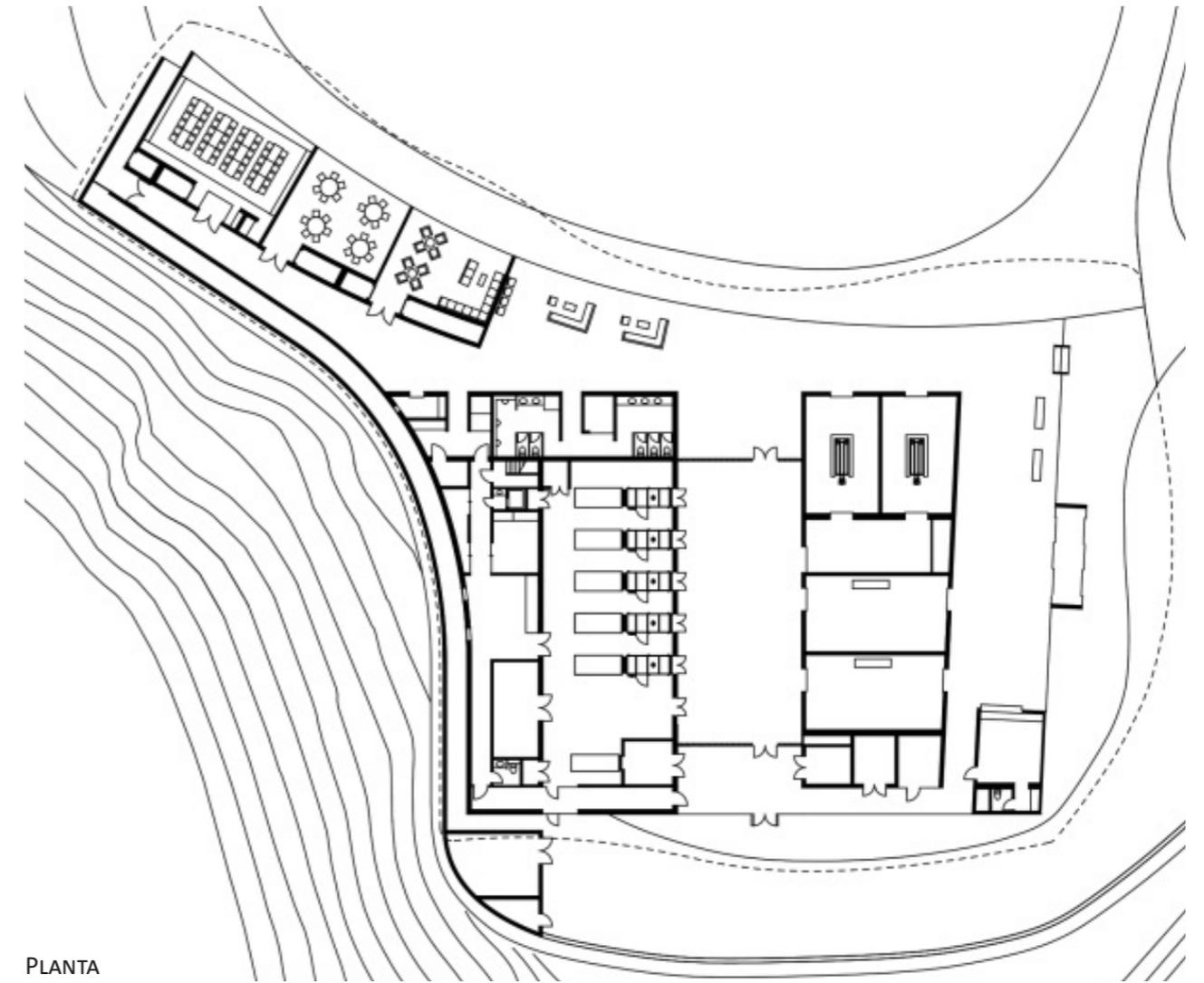
**Kakamingahara, Japón (2004-2005).**  
**Toyo Ito.**

Una de las características de este arquitecto es la relación con la naturaleza que muestra en todos sus proyectos. En esta obra, al ubicarse en un entorno natural este vínculo queda mucho más enfatizado.

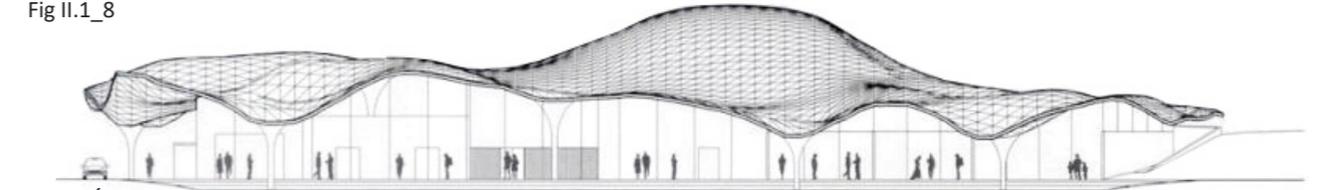
Su idea era crear una arquitectura que transmitiera una sensación de calma para hacer más llevadera la aceptación de la muerte. Intenta mimetizarse con la naturaleza hasta el punto de crear un lago artificial.

El edificio se constituye con una estructura arbórea a través de una geometría compleja de láminas de hormigón ondulante haciendo similitud con la colina de la que intenta formar parte. La planta queda encajada entre el monte y el lago artificial, dejando los usos más técnicos al fondo mientras que las zonas públicas quedan enfrentadas al lago, permitiendo que la naturaleza cobre protagonismo.

Una de las singularidades de esta obra aparte de la cubierta, se encuentra en los pilares, los cuales son huecos para recoger el agua de lluvia de la cubierta.



PLANTA  
Fig II.1\_8



SECCIÓN LONGITUDINAL  
Fig II.1\_9



Fig II.1\_10

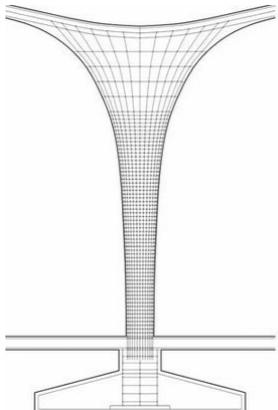


Fig II.1\_11



Fig II.1\_12



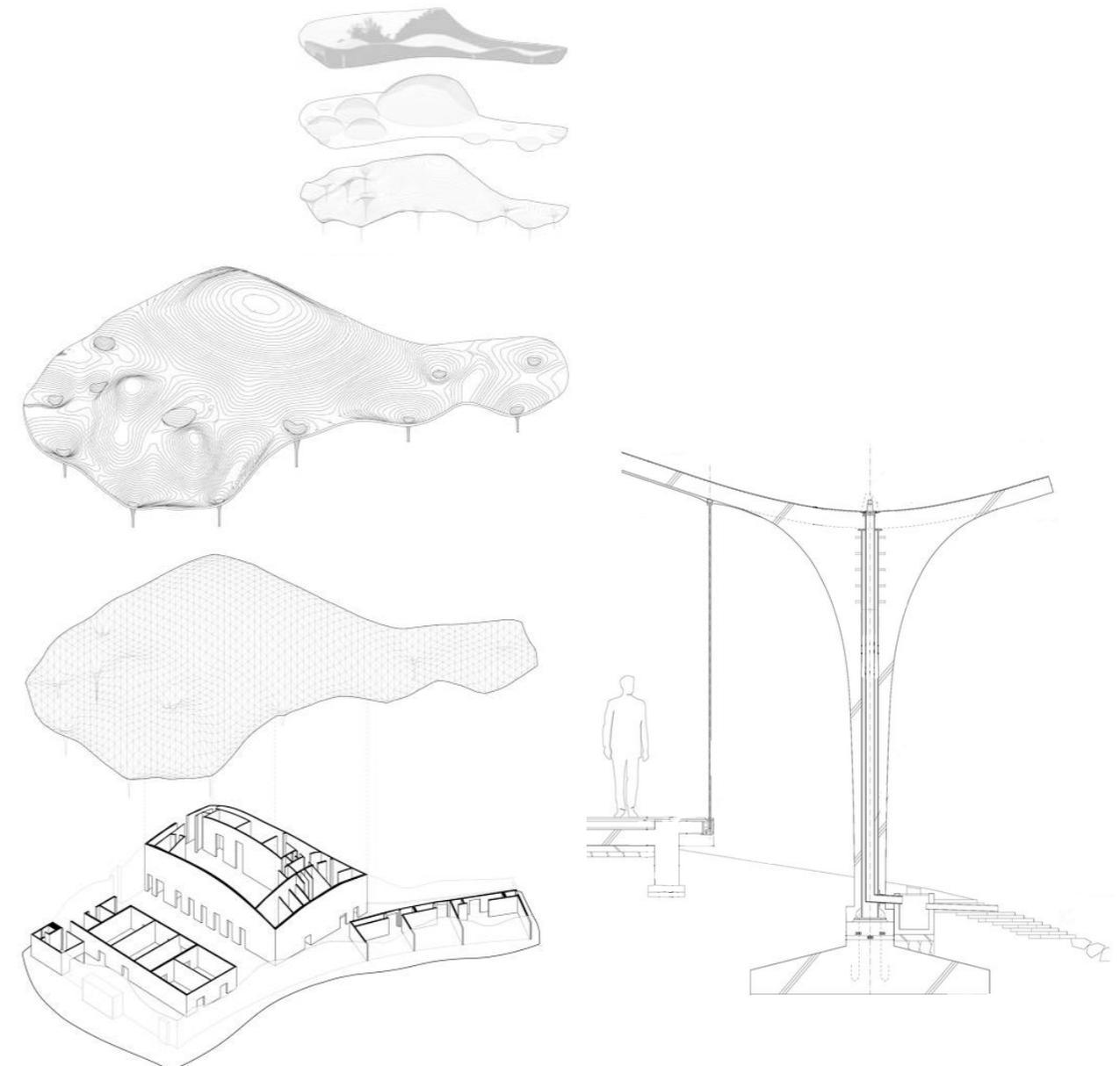
Fig II.1\_13

La cubierta se formaliza como una reinterpretación de la colina adyacente para integrarse con ella y formar parte de la naturaleza. Esto se consigue con una estructura de hormigón reforzado que se curva libremente para construir este plano caracterizado por sus concavidades y convexidades.

La forma de la cubierta viene dada como resultando de minimizar los esfuerzos de la lámina de hormigón, permitiendo reducir el espesor y el consumo de material de la misma, y de dotarla de las pendientes necesarias para la evacuación de las aguas pluviales hacia los puntos más bajos, donde se situarán uniformemente los pilares que las recogen.

El encofrado se realizó mediante tablillas de madera de 150mm de ancho, colocadas sobre las vigas que definen las ondulaciones de la cubierta cada metro. Estas tablillas conforman toda la geometría de la cubierta además de unirse con los encofrados de los capiteles de los pilares, dando lugar así, a un encofrado continuo que abarca la totalidad de la pieza.

Se puede ver como Toyo Ito, gracias a sus procesos técnicos constructivos, consigue a través de la forma hacer una arquitectura que evoca la naturaleza del entorno, creando la sensación de pertenencia a ella, llegando incluso a establecer un paralelismo simbólico con la muerte como proceso natural.



DESARROLLO DE LA FORMA  
Fig II.1\_14

SECCIÓN CONSTRUCTIVA  
Fig II.1\_15



Fig II.1\_16

**Notre Dame du Haut.**  
Ronchamp, Francia (1954).  
Le Corbusier.

La obra destaca en cuanto a forma y textura, debido a la realización de la cubierta según la curva de catenaria. Supone un avance para la época, evolucionando el hormigón hacia nuevos trazados curvos, ayudándose de los encofrados que confieren al acabado cierta singularidad en cuanto a su textura.

Por otro lado, en cuanto al color, no se pretende ningún cambio o avance, pasando en este caso a un segundo plano.

La técnica utilizada, permitió trazados curvos, pero sin conllevar un gran cambio en su concepción o proceso constructivo.

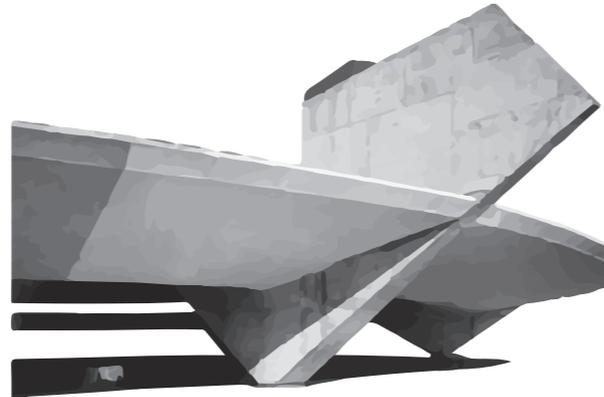
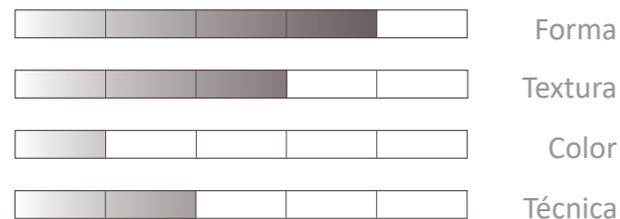


Fig II.1\_17

**Club Atlético Paulistano.**  
Sao Paulo, Brazil (1958-1961).  
Paulo Medes Da Rocha, Joao De Gennaro.

Su configuración a base de elementos geométrico de cierta irregularidad lo dota de gran valor formal, mientras que la textura y color quedan sin tratar (característica de la escuela paulista).

La forma conllevó el planteamiento de un nuevo funcionamiento estructural, apoyando el edificio en 6 puntos y recurriendo a un anillo de hormigón pretensado, lo que le concede una alta valoración técnica.

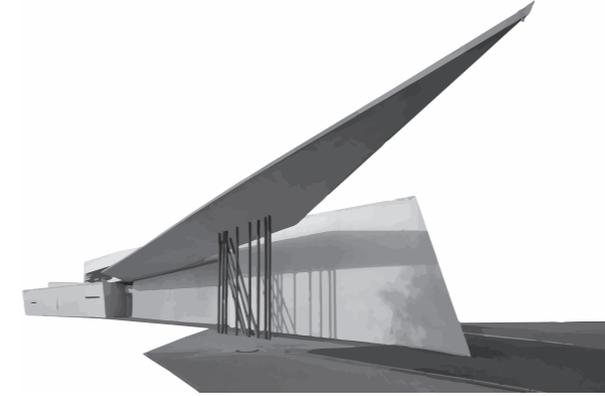


Fig II.1\_18

**Estación de Bomberos Vitra.**  
Weil Am Rhein, Alemania (1991-1993).  
Zaha Hadid.

Al igual que en toda su obra, la arquitecta realiza todo un alarde formal, proporcionando uno de los mayores impulsos al hormigón en cuanto al empleo de nuevos encofrados. Esto, junto con los grandes voladizos le hacen destacar, además, en su valor técnico.

La textura fue cuidada para la obtención de acabados lisos, mientras que el color quedó sin tratar.

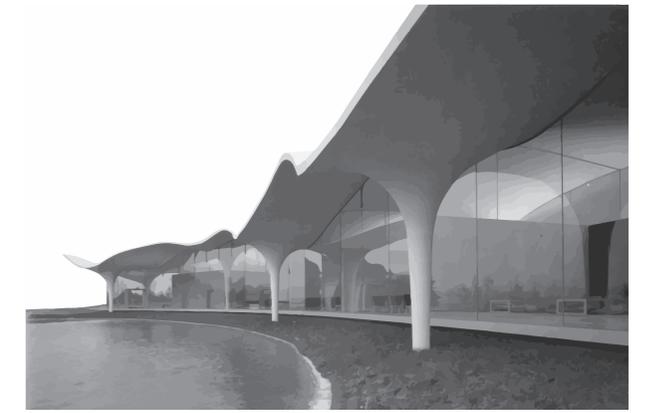


Fig II.1\_19

**Crematorio de Kakamingahara.**  
Kakaminghara, Japón (2004-2005).  
Toyo Ito.

La obra supone un alarde formal, evocando las ondulaciones de un terreno natural realizado en hormigón. Para ello se diseñó un sistema completo de encofrados y subestructura de madera, que permitieron la elaboración de elementos verticales y horizontales de forma continua. Vacía el alma de los apoyos para evacuar el agua de lluvia, dando un paso más en las posibilidades de estructurales del hormigón.

Al revestir la obra en su totalidad mediante pintura blanca, provoca la pérdida completa de textura y color aportados por el hormigón, anulando así la valoración de dichos aspectos.



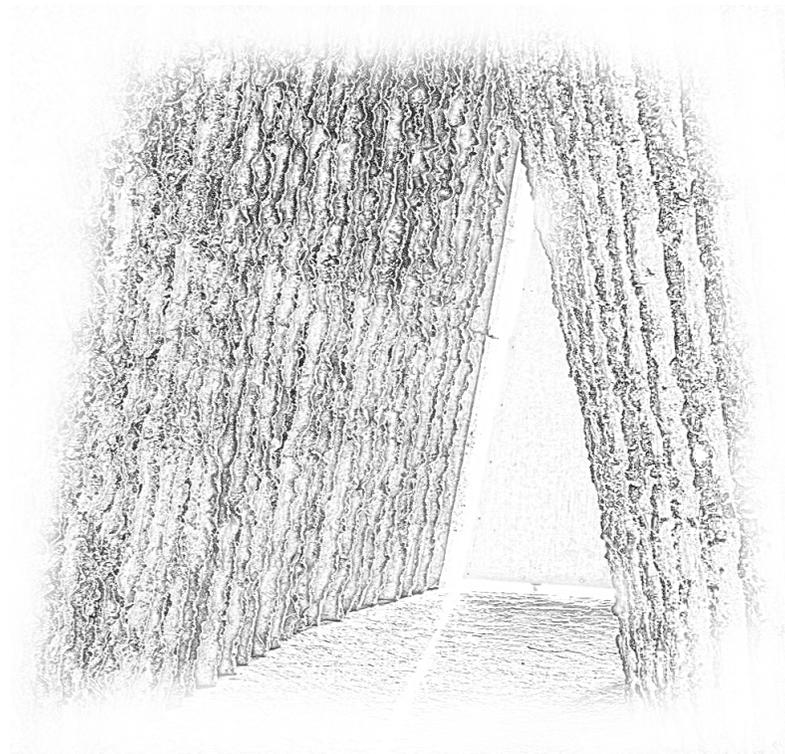
## II.2 Textura.

Otro de los instrumentos donde la arquitectura encuentra su auge son las texturas, creando obras donde su terminación no sea simple formalismo, sino la razón de proyecto e hilo conductor de este. Se pueden conseguir obras que perderían todo su sentido si no se tuviese en cuenta su textura.

El hormigón es un material que ofrece infinidad de texturas al igual que formas, por poseer la propiedad de plasticidad, adaptándose a cualquier molde que lo contenga en su primera fase.

Los responsables de estos acabados pueden ser tanto los distintos encofrados, como las técnicas constructivas llevadas a cabo.

De este modo se pueden obtener las texturas arquitectónicas deseadas en nuestros proyectos sin la necesidad de aplicar posteriormente tratamientos superficiales o “maquillajes”



**CAPILLA DE CAMPO BRUDER KLAUS.**

Fig II.2\_1 *Elaboración propia.*

No se puede hablar de las texturas resultantes del hormigón sin mencionar al **Palacio de la Asamblea de Chandigarh** que además de ser una arquitectura de gran valor, abrió durante su construcción una puerta a nuevas texturas que se utilizarán en la modernidad. Debido a la insuficiencia de madera para encofrado, hubo que fabricar unos paneles de metal que al quitarlos, otorgaron a la obra unos acabados lisos nunca antes vistos.

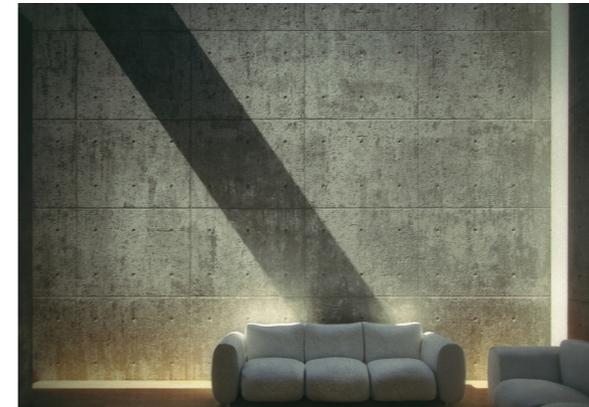
Otro ejemplo de una “arquitectura de texturas” podría ser la **Casa Koshino**. En esta obra, Tadao Ando utiliza el hormigón liso y el tratamiento de la luz como única ornamentación de la casa. Se trata de una arquitectura más rígida por la utilización de paneles metálicos como encofrados para obtener esa perfección en el acabado, que da lugar a unos paramentos completamente lisos.

Por el contrario, se pueden encontrar obras mucho más orgánicas como la **Ladera de la Misericordia** que utiliza un sistema constructivo a base de piezas prefabricadas, pre-estampados mediante unos moldes ondulados. Esta textura se aplica a todos los paramentos verticales tanto exteriores como interiores, originando una pieza de carácter artificial de gran belleza, que contrasta con el contexto histórico en el que se desarrolla.



**Palacio de la Asamblea.**  
Chandigarh, India (1951-1965).  
Le Corbusier.

Fig II.2\_2



**Casa Koshino.**  
Ashiya-Shi, Japón (1984).  
Tadao Ando.

Fig II.2\_3



**Ladera de la Misericordia.**  
Salvador, Brazil (1987).  
Zaha Hadid.

Fig II.2\_4



Fig II.2\_5



Fig II.2\_6



Fig II.2\_7

## Capilla de Campo Bruder Klaus.

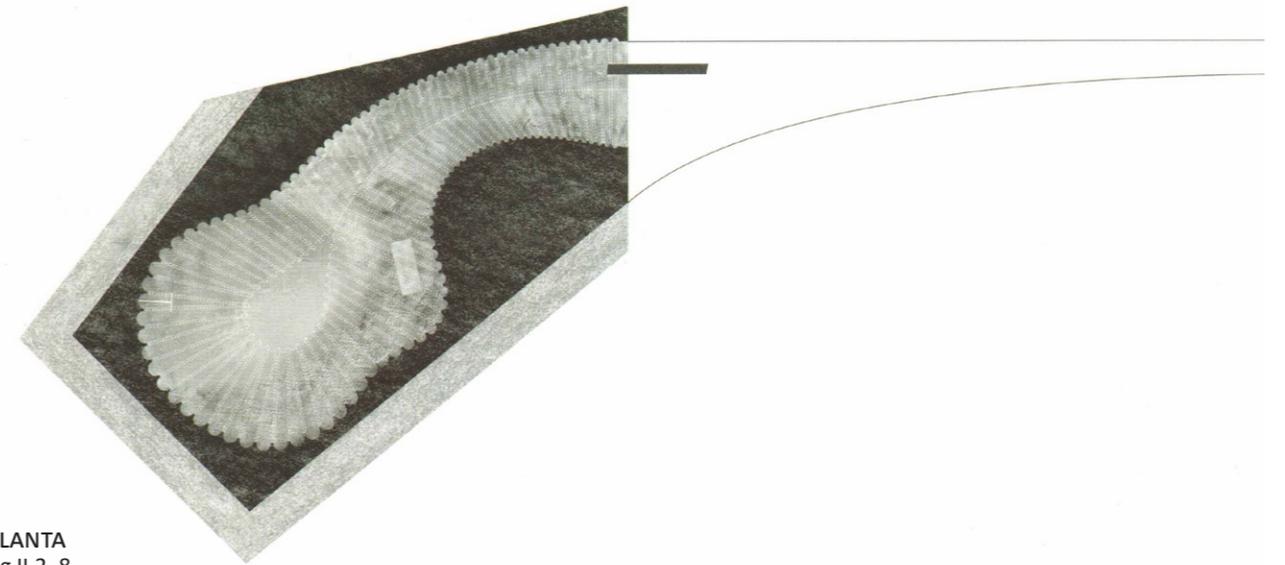
**Mechernich, Alemania (2007).  
Peter Zumthor.**

Esta obra, fue iniciativa de unos agricultores de la zona para honrar a su patrón local del siglo XV. Finalmente se terminó convirtiéndose en un hito de la arquitectura en el paisaje natural de Alemania.

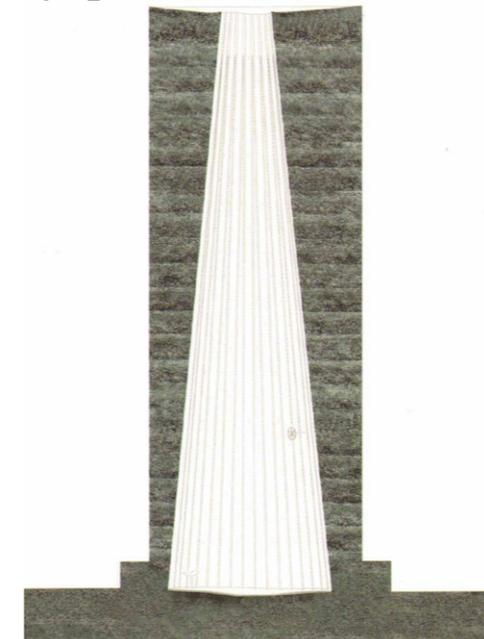
El acceso se realiza a través de un camino de tierra que culmina en la puerta de acero triangular de la capilla, que adopta esta forma como gesto de exaltación de lo espiritual y lo divino. Esta sensación queda aun más enfatizada en su interior, ya que, tras una planta rectangular exterior se oculta un trazado interior mucho mas orgánico e inesperado, que genera un espacio místico e íntimo que invita a la reflexión.

El templo se materializa completamente en hormigón armado utilizando la tierra del lugar para conseguir su misma tonalidad y mimetizarse con el entorno.

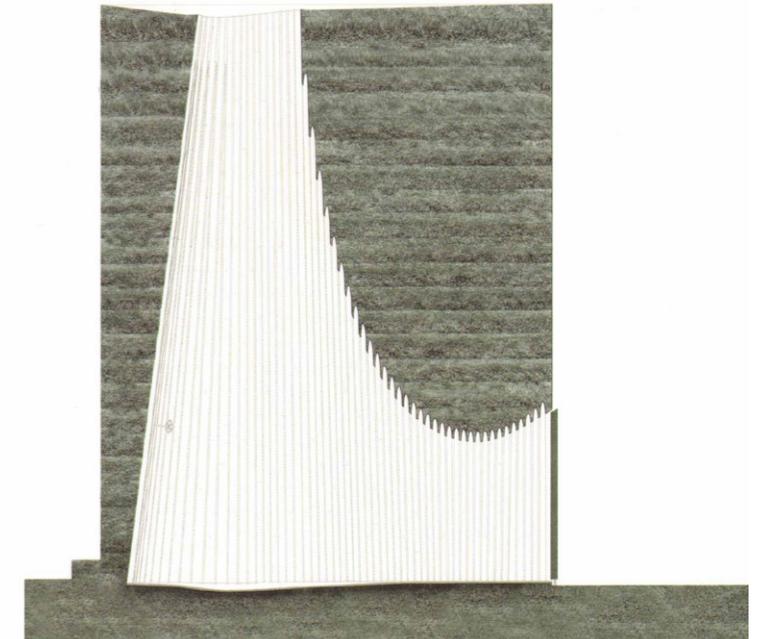
La iluminación interior se realiza a través de una serie de pequeñas perforaciones tapadas con vidrio, y un lucernario que se abre al cielo introduciendo luz, además de controlar el clima interior, provocando diferentes sensaciones y experiencias según la hora del día y la época del año .



PLANTA  
Fig II.2\_8



SECCIÓN TRANSVERSAL  
Fig II.2\_9



SECCIÓN LONGITUDINAL  
Fig II.2\_10



Fig II.2\_11



Fig II.2\_12



Fig II.2\_13

La particularidad de esta obra se encuentra en las texturas obtenidas mediante un método constructivo muy singular.

Consiste en la realización de una empalizada de 112 troncos de árbol en forma de tienda india, que sirvió como encofrado perdido. El hormigonado se realizó vertiendo una capa de medio metro de grosor cada día. Al medir la capilla 12 metros de altura, se tardaron 24 días en hormigonar la totalidad de la capilla. Una vez llegado a la altura final se interrumpió el vertido dejando las puntas de los troncos libre, generando de este modo el lucernario.

Las pequeñas perforaciones que recorren la capilla son el resultado de tubos de acero, por los cuales pasaron los elementos que se utilizaron para mantener unidos los encofrados exterior e interior.

Una vez había fraguado ese caparazón, se incendió, dando como resultando un negativo exacto del encofrado de troncos, con unas cavidades huecas ennegrecidas y paredes carbonizadas.

No se puede decir, que la textura en esta arquitectura haya sido un elemento de simple estética, sino que ha sido el impulso de toda la idea, concibiendo un interior cavernario y espiritual propio de este uso.

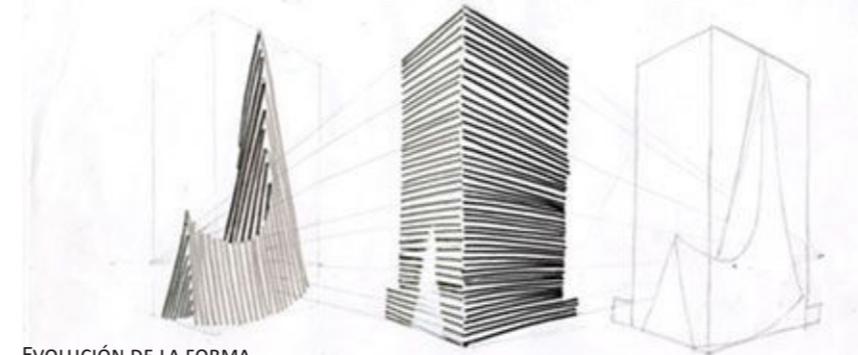


FASES DE ENCOFRADO

Fig II.2\_14

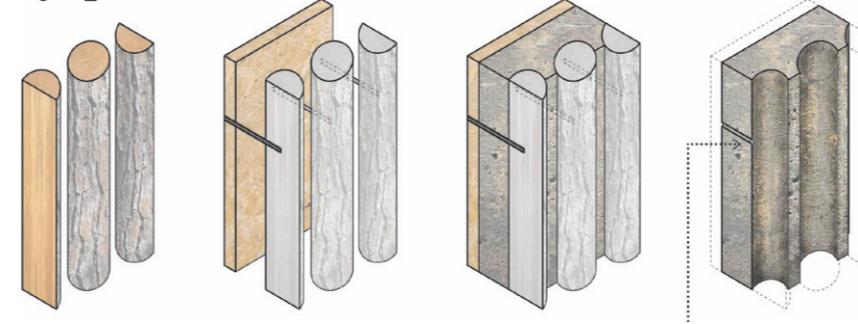
Fig II.2\_15

Fig II.2\_16



EVOLUCIÓN DE LA FORMA

Fig II.2\_17



PROCESO DE ENCOFRADO

Fig II.2\_18



EMPALIZADA DE ENCOFRADO INTERIOR

Fig II.2\_19



Fig II.2\_20

**Palacio de la Asamblea.**  
Chandigarh, India (1951-1965 ).  
Le Corbusier.

Se aprecia de nuevo el empleo de formas curvas, ayudándose de un complejo encofrado con forma paraboloide. Sin embargo, el resto del edificio recurre a elementos planos verticales y horizontales.

Como peculiaridad, la escasez de madera para los encofrados, obligó a la utilización de encofrados metálicos, dando lugar a los nuevos acabados lisos y, concediendo un valor extra en cuanto a textura.

No existe tratamiento de color, permaneciendo el hormigón visto en sus tonos naturales.



Fig II.2\_21

**Casa Koshino.**  
Ashiya-Shi, Japón (1984).  
Tadao Ando.

Se apoyó en la industrialización para la obtención de los encofrados metálicos que confieren un acabado liso y único. Esto le concede, no solo gran valor por su textura, sino por la innovación técnica mediante la incorporación de nuevos encofrados.

Si bien, al igual que otras obras, no cuenta con un tratamiento del color, si que el proyecto se desarrolla desde un principio en cuanto a la búsqueda concreta del mismo, pasando de ser una consecuencia a un requisito.

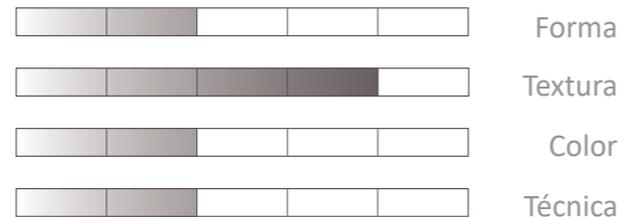


Fig II.2\_22

**Ladera de la Misericordia.**  
Salvador, Brazil (1987).  
Lina Bo Bardi.

Una vez más, los resultados curvos dan origen a nuevas piezas que sobresalen de los estándares formales del momento.

Se le dá una textura ondulada continua a todos los paramentos verticales a partir del encofrado utilizado, potenciando de nuevo la innovación técnica.

El color queda sin tratar, dando lugar a los tonos grises neutros del material.

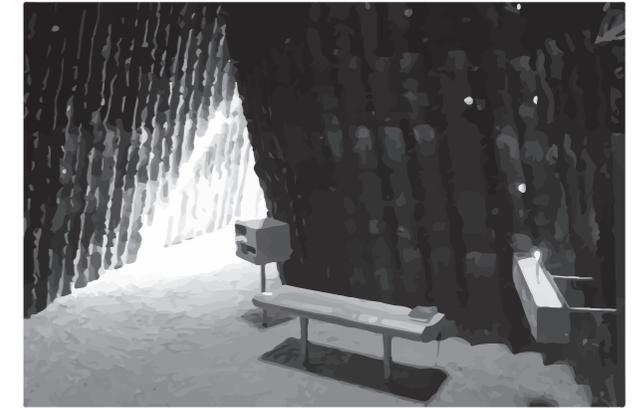
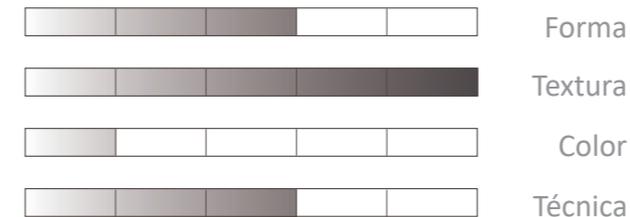


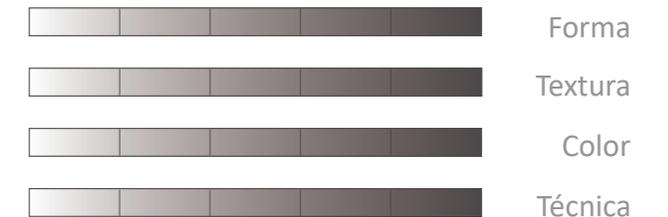
Fig II.2\_23

**Capilla de Campo Bruder Klaus.**  
Mechernich, Alemania (2007).  
Peter Zumthor.

Existe una diferencia formal entre la pieza exterior e interior, destacando especialmente la interior por su disposición a modo de tienda, dotando a esta obra de un valor único en cuanto a su forma.

Su textura interior es fruto de la utilización de troncos de madera dispuestos a modo de empalizada como encofrado interior y, posteriormente quemados.

Más allá de su textura interior, e incluso color, consecuencia del calcinado de la madera, se emplea árido del lugar para colorear el hormigón, mimetizándose así con el entorno natural donde se ubica.

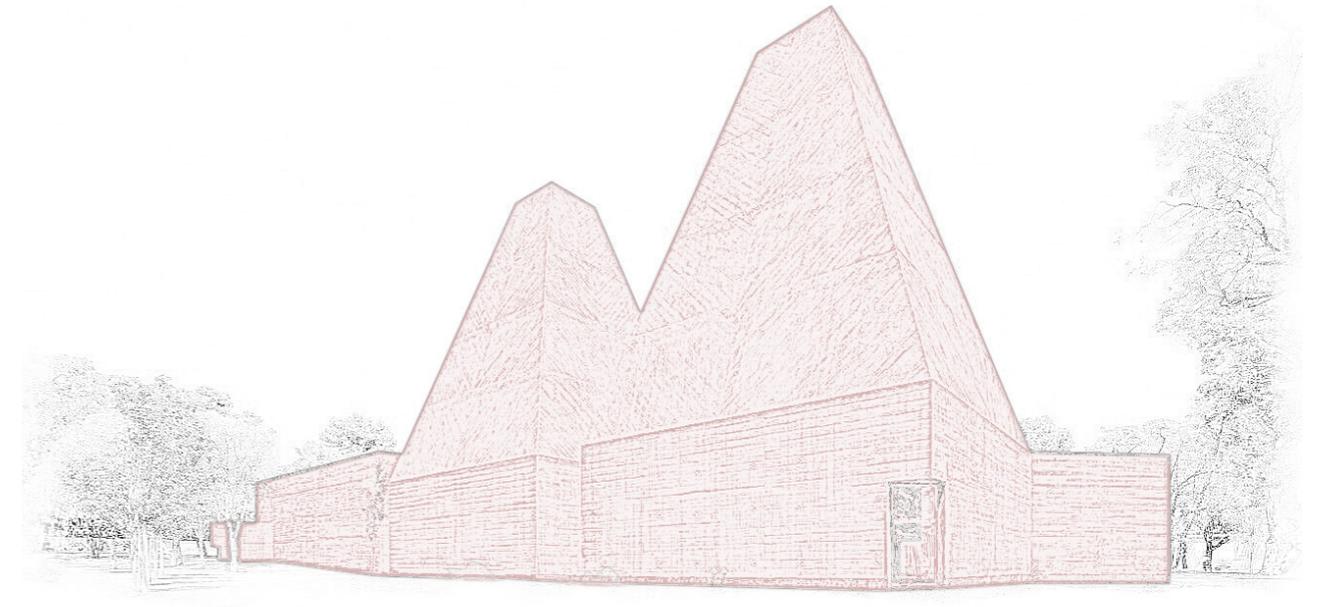


## II.3 Color.

El color supone un elemento sustancial del discurso arquitectónico, ya que es un factor compuesto por multitud de variables, que debido a que, ante la incidencia de la luz, cada superficie refleja una longitud de onda precisa, hacen entrar en juego la percepción y capacidad de cada persona para interpretarlas como señales de colores, y de este modo permitir que cada uno de los receptores pueda percibirla de forma diversa.

Por ello, no se debe pensar en el color como algo invariable a lo largo de toda la vida del elemento arquitectónico al que pertenece. Pues, dependiendo de la situación, las percepciones personales, la naturaleza y los cambios climáticos ofrecen unos filtros que hacen que las arquitecturas sean únicas en cada momento.

El hormigón se identifica con sus tonos grises de base, pero estos, se pueden alterar variando su composición. Muchas arquitecturas hacen uso de este método para mimetizarse con el entorno, utilizando como árido la propia tierra del lugar y generando así obras con las mismas tonalidades del paisaje. Otras muchas veces el color se utiliza para potenciar los usos, para ser recordado o para generar distintas emociones.



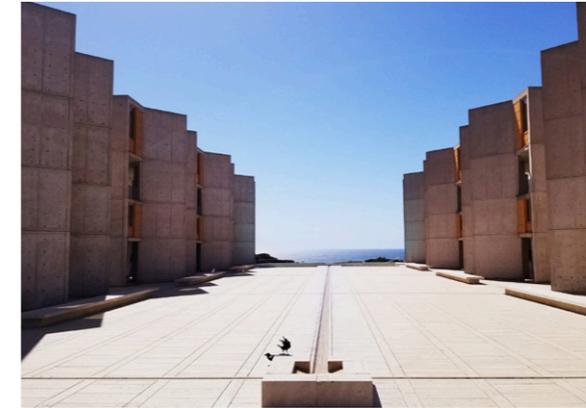
**CASA DAS HISTORIA PAULA REGO.**

Fig II.3\_1 *Elaboración propia.*

Una obra que hace referencia al color es el **Instituto Salk de Estudios Biológicos**. Se divide en dos edificios separados por una plaza central, realizando sus fachadas con un vertido de hormigón al que se le añade puzolana y pigmento de color lavanda, generando un matiz rosáceo en el atardecer y amanecer. Tanto las fachadas como la plaza muestran similitud en sus tonalidades convirtiéndose en la quinta fachada.

Otra referente a destacar, es la **Fundación Joan Miró**. Centro que combina los usos de estudios para artistas y becarios, y un espacio para la conservación y exposición de las obras de Miró. El color entra en juego de forma casi imperceptible en su construcción blanca que centra nuestra visión en el paisaje del mar de fondo y en las obras protagonistas del centro.

Por último se puede resaltar una obra que, a pesar de contar con algo menos de reconocimiento que los anteriores ejemplos, hace un uso del color bastante interesante: la **Biblioteca de Ciencias, Ingeniería y Arquitectura de Lima**. Al igual que la mayoría de las arquitecturas de Latinoamérica utiliza las tonalidades del lugar para mimetizarse con su entorno. Se materializa en un hormigón de color rojizo que, junto con la masividad de la estructura, le otorga un carácter imponente, al mismo tiempo que remite a la memoria de los restos prehistóricos circundantes.



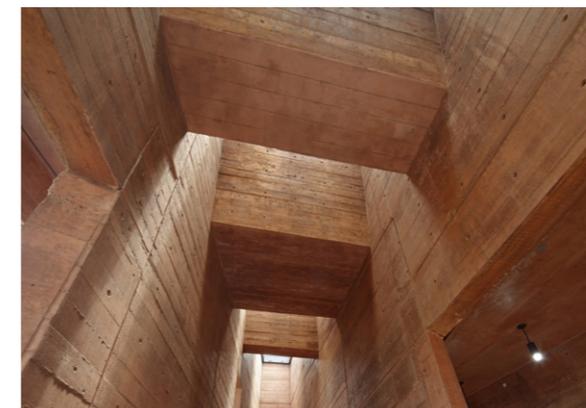
**Instituto Salk de Estudios Biológicos.**  
San Diego, Estados Unidos (1959-1965).  
Louis I. Kahn.

Fig II.3\_2



**Fundación Miró Mallorca.**  
Mallorca, España (1992).  
Rafael Moneo.

Fig II.3\_3



**Biblioteca de Ciencias, Ingeniería y Arquitectura.**  
Lima, Perú (2014).  
Llosa Cortegana.

Fig II.3\_4



Fig II.3\_5



Fig II.3\_6



Fig II.3\_7

## Casa Das Historias Paula Rego.

Portugal (2008).  
Eduardo Souto De Moura.

Fue promovido por la propia pintora, eligiendo para su ubicación, junto con Souto de Moura, un campo de tenis en desuso que poseía una frondosa vegetación. De igual modo, participó en la propia composición del conjunto, dando lugar a que algunas piezas respondan de forma directa a los requerimientos y funciones que demandaba la pintora.

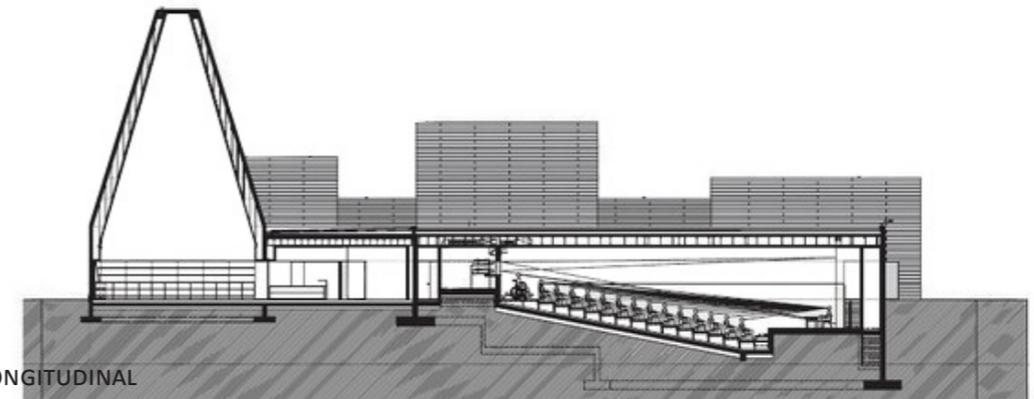
Se trata de una arquitectura contemporánea ligada a la historia del lugar y a los habitantes. Con ella Souto de Moura vuelve a sus orígenes utilizando formas geométricas muy literales, muros opacos,...

La elección de la ubicación deja constancia de su relación con la naturaleza, disponiendo una arquitectura claustral en torno a un espacio de exposiciones que respeta la vegetación existente.

Los volúmenes que encierran el espacio de exposiciones varían tanto en altura como en tamaño, delimitando el acceso por dos pirámides truncadas a modo de chimeneas que le da un protagonismo escultórico. Estas pirámides miden 16m de altura y se iluminan de forma cenital potenciando su concepción espacial interior.



PLANTA  
Fig II.3\_8



SECCIÓN LONGITUDINAL  
Fig II.3\_9



Fig II.3\_10



Fig II.3\_11



Fig II.3\_12

Toda la obra está construida con hormigón como elemento portante y como generador de los acabados. Utiliza este material gracias a su plasticidad y facilidad que le da para obtener las formas deseadas.

Pigmenta el hormigón con óxido ferroso, obteniendo un color rojizo con el que cubre toda la arquitectura y remontándose a la estética de las obras primitivas y arcaicas.

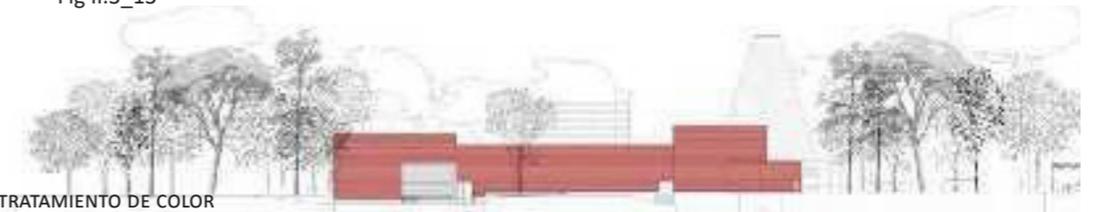
Otras de las particularidades de este centro, aparte del color, es la textura que consigue mediante el encofrado. Utiliza una técnica con listones de madera dispuestos en una estudiada posición de forma de espiga para las pirámides, y en posición horizontal para los muros inferiores, lo que consigue un acabado que evoca a las construcciones tradicionales en muros de tapial del lugar.

No se puede poner en duda en esta obra, que tanto la pigmentación del color como la textura han sido las herramientas de proyecto que han permitido trasladar ese carácter tradicional a una obra contemporánea como esta. Y, al mismo tiempo, las grandes pirámides de color rojo de la entrada se ha convertido en todo un hito, no solo para la ciudad y sus habitantes, sino, también, para el mundo de la arquitectura.



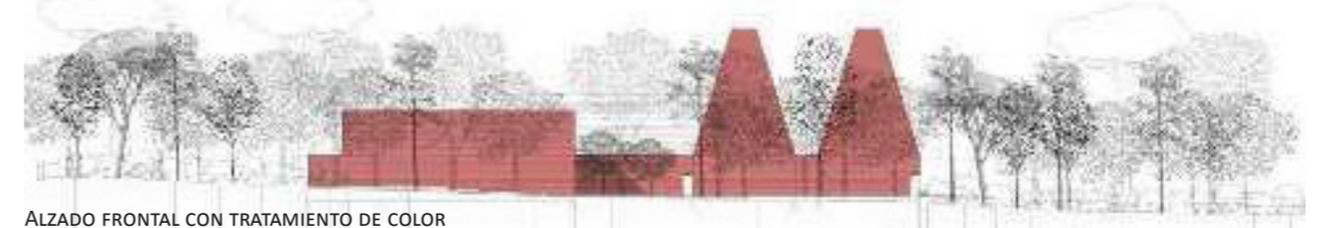
PLANTA CON TRATAMIENTO DE COLOR

Fig II.3\_13



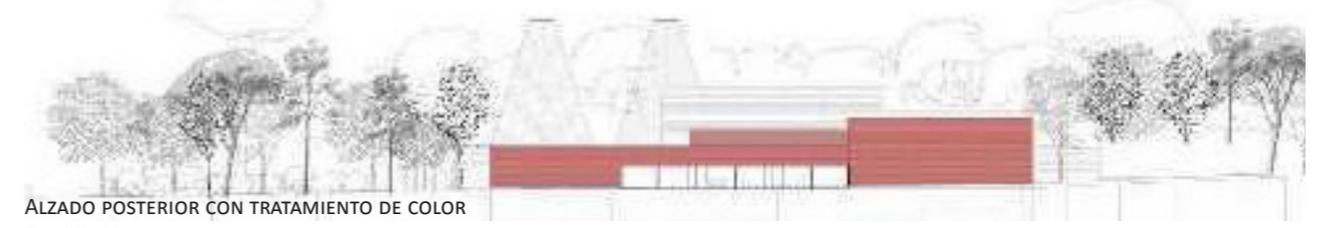
ALZADO LATERAL CON TRATAMIENTO DE COLOR

Fig II.3\_14



ALZADO FRONTAL CON TRATAMIENTO DE COLOR

Fig II.3\_15



ALZADO POSTERIOR CON TRATAMIENTO DE COLOR

Fig II.3\_16



Fig II.3\_17

**Instituto Salk de Estudios Biológicos.**  
San Diego, Estados Unidos (1959-1965).  
Louis I. Kahn.

El cuidado minucioso de los encofrados, concede una textura lisa que se complementa con una trama de líneas y puntos que dialogan con la plaza y la escala del proyecto.

Se utilizaron pigmentos malvas en el hormigón, que, al atardecer, generan los peculiares tonos y reflejos que caracterizan dicha obra.



Fig II.3\_18

**Fundación Miró Mallorca.**  
Mallorca, España (1992).  
Rafael Moneo.

Reside su principal interés, en la utilización del color. Se emplea hormigón blanco, no siendo el color de mayor dificultad, pero respondiendo de forma excelente a los requisitos del proyecto.

Aparece la textura de bandas horizontales en el encofrado como complemento del color.

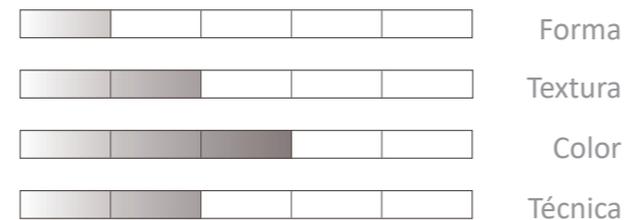


Fig II.3\_19

**Biblioteca de Ciencias, Ingeniería Y Arquitectura.**  
Lima, Perú (2014).  
Llosa Cortegana.

A pesar de los elementos masivos, las formas individuales no dejan de ser piezas más o menos simples de trazados rectos.

La utilización del árido del lugar, proporciona un valor elevado en cuanto a color, condicionado por los tonos rojizos y la granulometría del mismo. Resalta la textura del árido junto con las marcas horizontales del encofrado de tablillas de madera.

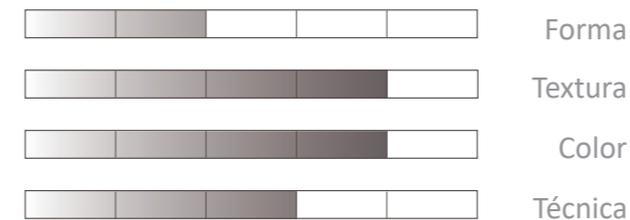
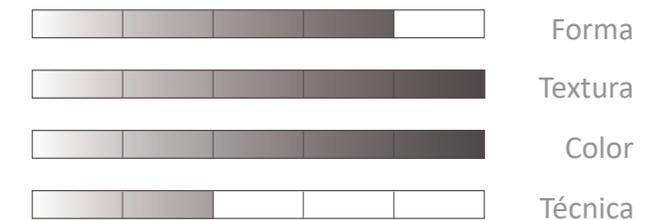


Fig II.3\_20

**Casa Das Historias Paula Rego.**  
Portugal (2008).  
Eduardo Souto De Moura.

La obra se constituye como un gran alarde formal, dando lugar a un volumen característico y único en el que sobresalen las dos chimeneas en forma de pirámides truncadas.

El alto valor de color y textura vienen dados por la pigmentación del hormigón, que convierte la obra en todo un hito y, la utilización de un encofrado de tablillas de madera con disposición en espiga y en bandas horizontales, evocando una arquitectura del pasado perteneciente al lugar.



## II.4 Técnica.

La Técnica se refiere a la utilización de unos procesos constructivos a partir de los cuales se consigue potenciar cualquier cualidad del material, como se ha visto en los capítulos anteriores de forma, textura o color. En este caso, cuando se habla de técnica se alude a cómo, mediante el proceso constructivo, se logra alcanzar un mejor funcionamiento del material en cuanto a su comportamiento mecánico.

En este sentido, la arquitectura hace uso de ella para conseguir unas singularidades que con el hormigón convencional no sería posible resolver. Por eso cada obra utiliza la técnica más racional e idónea en cada caso.

Al igual que en los capítulos anteriores, no se hace referencia a la técnica utilizada como la solución a las dificultades que presenta cada proyecto, sino, estudiarla y entenderla, en aquellos casos en los que supone el elemento generador de la idea del proyecto.

En hormigón, las técnicas que mejoran las cualidades mecánicas son infinitas, al ser un material que permite su combinación con una serie de aditivos como fibras plásticas, vidrio o acero, concediéndole mejores propiedades en determinadas situaciones. De forma similar, aparecen otras técnicas como son el hormigón pre-tensado o pos-tensado, que permiten salvar luces mayores que con hormigón armado convencional.



**CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS.**

Fig II.4\_1 *Elaboración propia.*

La cubierta del **Hipódromo de la Zarzuela** es un alarde de técnica constructiva en la arquitectura, siendo la primera obra deportiva en convertirse en Patrimonio Mundial de la UNESCO. Se trata de una sucesión de estructuras laminares mediante las cuales, se crea una pieza continua de hormigón de sección variable, con apenas 5 cm de espesor en los bordes, y un voladizo de 12,80m. Se equilibra su peso mediante un elemento atirantado, y se derivan todos los esfuerzos a un único pilar, por el que, además, se evacuaran las pluviales.

Otra referencia para nombrar es el **Pabellón de Portugal** con una enorme e increíblemente delgada marquesina de hormigón pretensado, sujeta, aparentemente sin esfuerzo, entre dos pórticos poderosos. Este arco de catenaria que forman los cables de acero se rigidiza con 20 cm de hormigón, quedando vistos en su unión con el muro, permitiendo la entrada de luz y una sensación de ligereza.

Destacable también es el **Oceanogràfic de Valencia** también resuelto con estructuras laminares conocidas como cascarones. En este caso se resuelve con 8 lóbulos con forma de paraboloides hiperbólicos de láminas de hormigón armado.



**Hipódromo de la Zarzuela.**

Madrid, España (1935-1941).

Eduardo Torroja, Carlos Arniches Moltó y Martín Domínguez Esteban.

Fig II.3\_2



**Pabellón de Portugal, Expo' 98.**

Lisboa, Portugal (1998).

Álvaro Siza.

Fig II.4\_3



**Oceanogràfic de Valencia.**

Valencia, España (2003).

Felix Candela.

Fig II.4\_4



Fig II.4\_5



Fig II.4\_6

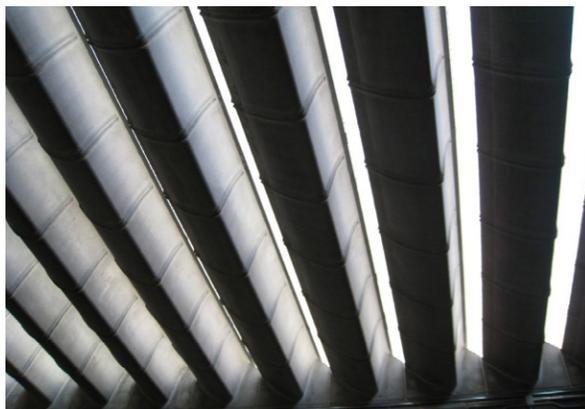


Fig II.4\_7

## Centro de Estudios Hidrográficos.

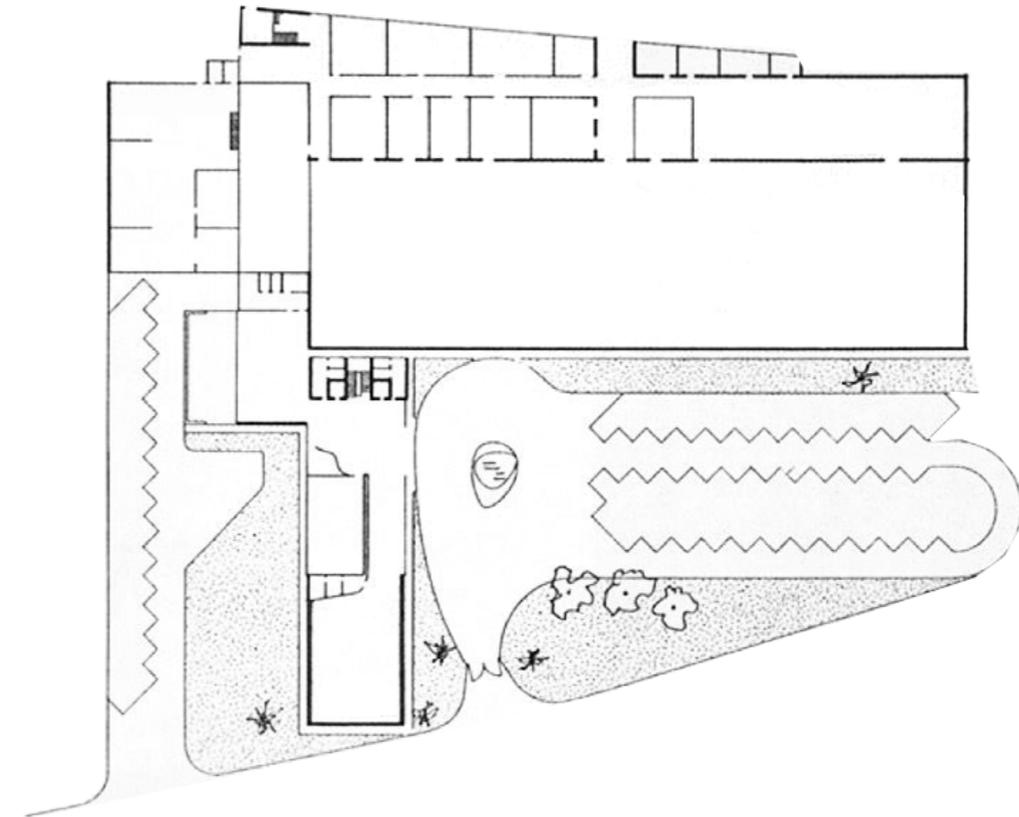
Madrid, España (1963).  
Miguel Fisac.

El conjunto está formado por la combinación de dos pabellones, conectados únicamente por un pasillo en planta primera. Se trata de un Centro de Estudio Hidrográfico y los Laboratorios de la Hidráulica. Ambos volúmenes se construyen íntegramente en hormigón armado con carpinterías de aluminio y acabados en hormigón visto.

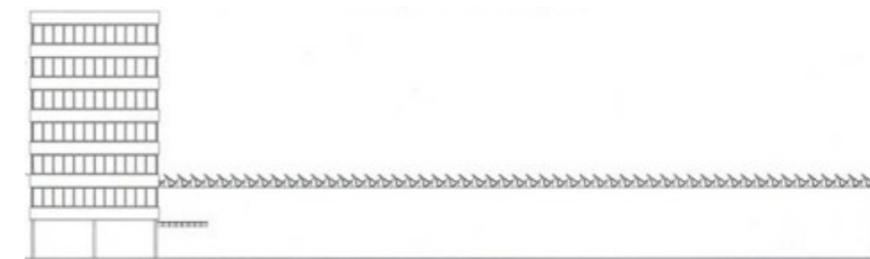
El edificio principal responde a un volumen vertical y prismático, valiéndose de la retícula para realizar su distribución interior.

La peculiaridad de esta obra reside en el modo de control de la iluminación solar que incidiese en el interior del edificio y la evacuación del agua de lluvia, proyectando una cubierta de elementos prefabricados con funciones tanto arquitectónicas como resistentes conjuntamente.

Esta cubierta quedaba formada por vigas huecas de gran luz realizadas con hormigón pre-tensado, y apoyadas sobre los muros lisos de hormigón.



PLANTA  
Fig II.4\_8



SECCIÓN LONGITUDINAL  
Fig II.4\_9



Fig II.4\_10



Fig II.4\_11



Fig II.4\_12

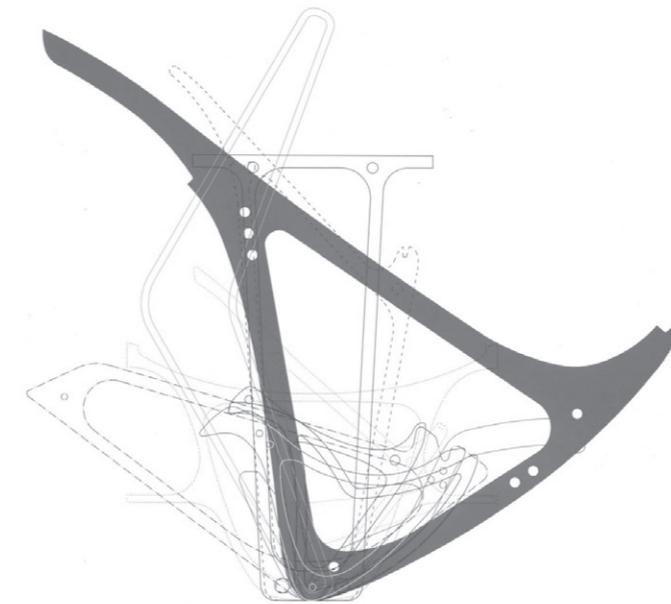
Fisac destacó por su gran imaginación, y su gran tesón, llegando a fabricar sus propias herramientas cuando la industria no se las concedía.

Debido a su relación con el hormigón armado y al entendimiento de su comportamiento, dio lugar, gracias a su ingenio, a la realización de las primeras patentes relativas a “vigas-hueso”, inspirándose en la sección de las extremidades de los huesos de los animales vertebrados.

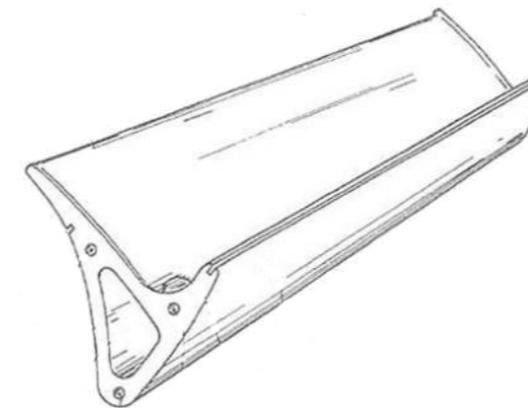
La sección de estas vigas hueso se caracterizaba por tener las paredes delgadas dando la posibilidad de obtener elementos de gran canto ligeros y estables. Al tratarse de una pieza pre-tensada, evitaba la fisuración, dificultando las filtraciones de agua, y pudiendo así, quedar visto en el exterior. En cambio por el interior al definir una sección hueca creaba la cámara de aire que permitía prescindir del aislamiento, dejando también el hormigón visto en el interior.

Como la producción de estos elementos a modo de una única pieza que salvara la totalidad de luz no era fácil, se crearon elementos cortos a modo de vertebras que, posteriormente, se unirán unas a otras en obra por alambres rectos pos-tensados que pasaban por cada uno de sus vértices.

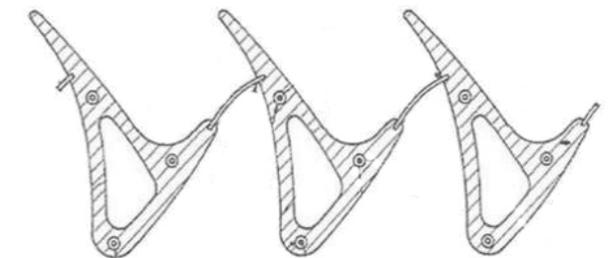
El alarde técnico que supuso la invención de estas vigas hueso prefabricadas, supuso un signo de distinción del edificio, convirtiéndose en la marca de identidad del proyecto y su arquitecto.



SECCIÓN TRANSVERSAL DE VIGA  
Fig II.4\_13



VOLUMETRÍA VIGA  
Fig II.4\_14



UNIONES DE VIGAS  
Fig II.4\_15

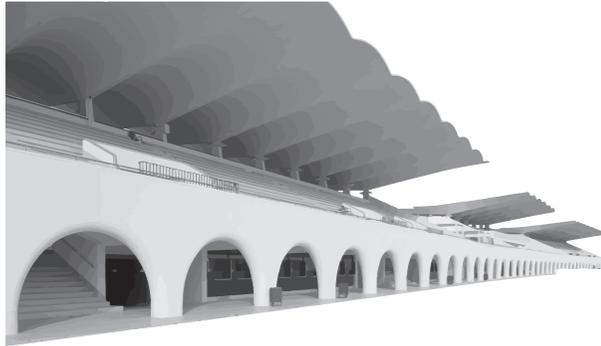


Fig II.4\_16

**Hipódromo de la Zarzuela.**

Madrid, España (1935-1941).  
Eduardo Torroja, Carlos Arniches Moltó y Martín Domínguez Esteban.

Esta obra, supone un gran salto, sobre todo a nivel técnico, en cuanto a la concepción del hormigón.

Se consigue una forma arqueada a modo de cubierta en voladizo, mediante el planteamiento de láminas con espesores variables. Optimiza al máximo el modelo estructural permitiendo conseguir estos espesores y los grandes vuelos que caracterizan el proyecto.

En cuanto al acabado se recurre a pintura blanca que oculta el hormigón en su interior.

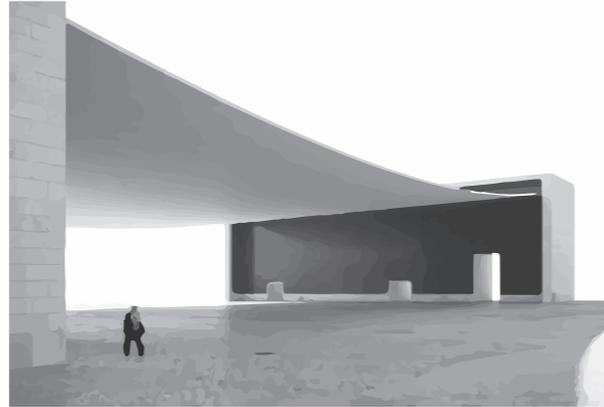


Fig II.4\_17

**Pabellón de Portugal, Expo'98.**

Lisboa, Portugal (1998).  
Álvaro Siza.

Se realiza una membrana de hormigón que sigue el trazado de catenaria, quedando suspendida entre dos grandes pórticos como si de una fina tela se tratase.

Pese a su gesto de liviandad, mantiene cierto aspecto y textura que revela su composición como material pesado.

Cuenta con un gran valor técnico al recurrir a sistemas de hormigón pretensado.

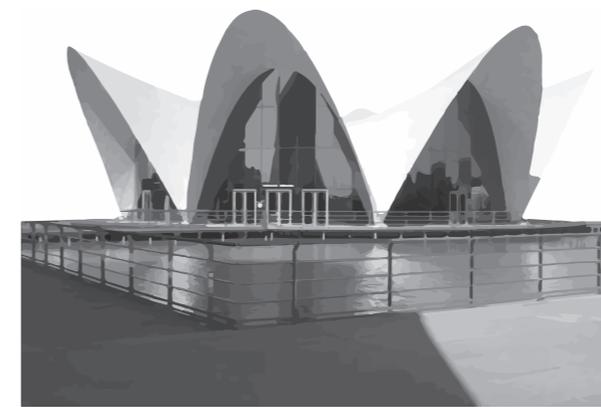


Fig II.4\_18

**Oceanográfico de Valencia.**

Valencia, España (2003).  
Felix Candela.

La composición por combinación de paraboloides hiperbólicos otorga un alto valor formal al proyecto.

En cuanto al color y textura, una vez más, se recurre a la pintura para su acabado, anulando la valoración de dichos aspectos.

Sin embargo, la realización de delgadas membranas de hormigón armado, junto con la dificultad de encofrado y formalización que conllevan las superficies regladas, le concede un alto valor técnico a la obra.



Fig II.4\_19

**Centro de Estudios Hidrográficos.**

Madrid, España(1963).  
Miguel Fisac.

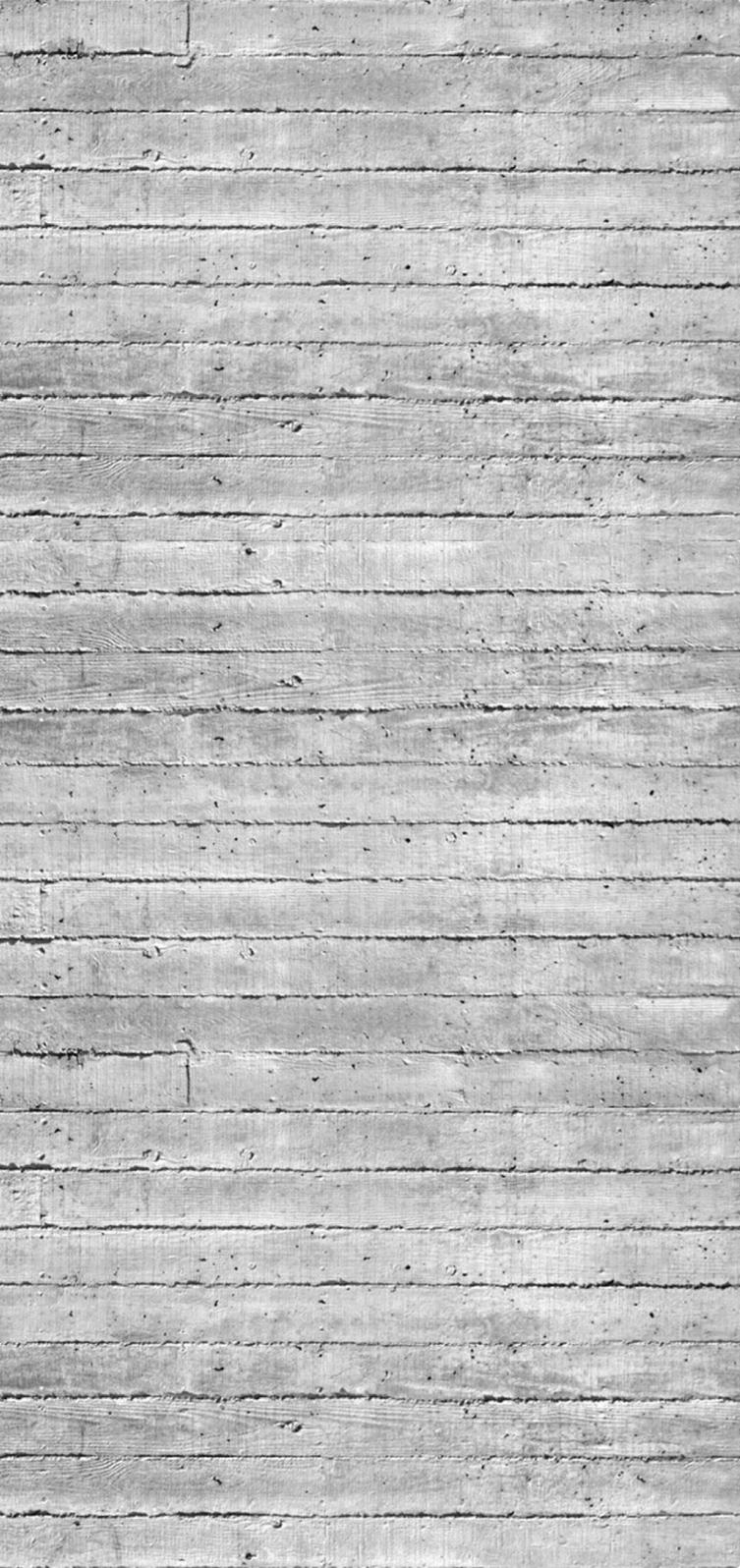
Pese al trazado regular en planta, la configuración de la cubierta del pabellón, da lugar a un elemento de geometría única.

Al tratarse de elementos prefabricados, conlleva una textura cuidada en fábrica.

No dispone de tratamiento de color, planteándose como elemento de hormigón visto natural.

Supone un gran avance técnico en el mundo de la prefabricación, originando una nueva pieza completamente a medida y en combinación con sistemas pos tesado.





## III Reflexiones sobre nuevos • sistemas con hormigón

III.1 Sistema de prefabricados (GRC y otros).

III.2 Sistemas mixtos.

III.3 Sistema de múltiple pared de hormigón armado.

III.4 Hormigón translúcido.

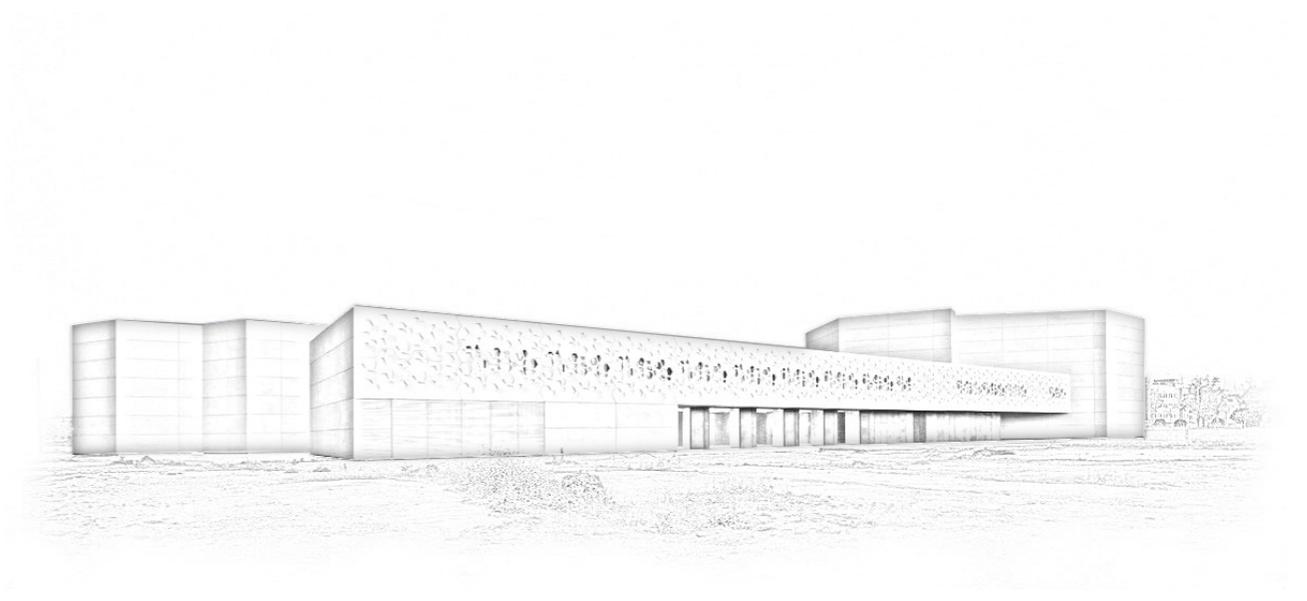
### III.1 Sistemas prefabricados (GRC y otros)

La técnica de los sistemas prefabricados de hormigón, surge por la necesidad de ahorrar tiempo y abaratar los costes. La colocación de las piezas prefabricadas agiliza la construcción, además de permitir modular el edificio en piezas iguales, reduciendo el conjunto a la combinación de un pequeño número de piezas iguales.

Hoy en día, las técnicas van avanzando y surgen nuevos sistemas constructivos a base de hormigón prefabricado. Muchos de los inconvenientes que presentaban estas construcciones se van resolviendo gracias a los avances tecnológicos como puede ser el sistema de panelados de GRC.

Este sistema consiste, al igual que los prefabricados tradicionales, en la modulación por paneles, pero con la peculiaridad de que la tradicional armadura de acero, queda sustituida por fibra de vidrio. Este cambio permite unos espesores muy inferiores, y sobre todo, una gran libertad con respecto a las formas deseadas, conseguidas mediante los moldes de prefabricación. De igual modo, se facilita la posibilidad de incorporar aislamientos al interior del panel, consiguiendo así cerramientos con acabados vistos exteriores.

Las texturas que se le puede otorgar a estos paneles, depende de la modulación empleada en la fabricación de las capas exteriores de hormigón prefabricado.



**ESPACIO ANDALUZ DE CREACIÓN CONTEMPORÁNEA.**

Fig III.1\_1 *Elaboración propia.*

La **Catedral de Brasilia** es una de las referencias destacables realizadas con hormigón prefabricado. La catedral se levanta con una estructura hiperboloide sobre una planta circular, quedando formada por 16 soportes idénticos de hormigón prefabricados y de sección hiperbólica. Finalmente esta estructura se cerró con fibra de vidrio por ser más resistente y menos pesada que el vidrio.

Otra gran obra realizada mediante prefabricados es la **Ópera de Sidney**, donde se diferencia dos elementos distinguidos, una base maciza y una cubierta ligera. Esta consiste en una serie de conchas triangulares apoyadas por un vértice y abiertas hacia arriba. Estos cascarones se realizaron con hormigón prefabricados en sección esférica.

El **Centro Heydar Alityec** es ejemplo claro del sistema de prefabricados GRC<sup>3</sup>. Se trata de un edificio donde las curvas características de la arquitectura de Zaha Hadid hace que se pierdan los límites entre lo horizontal y lo vertical. El material principal elegido para su revestimiento son los paneles de GRC (hormigón reforzado con fibra de vidrio), debido a la gran versatilidad formal que ofrece el material para resolver la compleja geometría que presenta el edificio.

<sup>3</sup> "Glass Reinforced Concrete".



**Catedral de Brasilia.**  
Brasilia, Brazil (1959-1970).  
Oscar Niemeyer.

Fig III.1\_2



**Ópera de Sidney.**  
Sidney, Australia (1959-1973).  
Jørn Utzon.

Fig III.1\_3



**Centro Cultural Heydar Aliyev.**  
Bakú, República de Azerbaiyán (2013).  
Zaha Hadid.

Fig III.1\_4



Fig III.1\_5



Fig III.1\_6

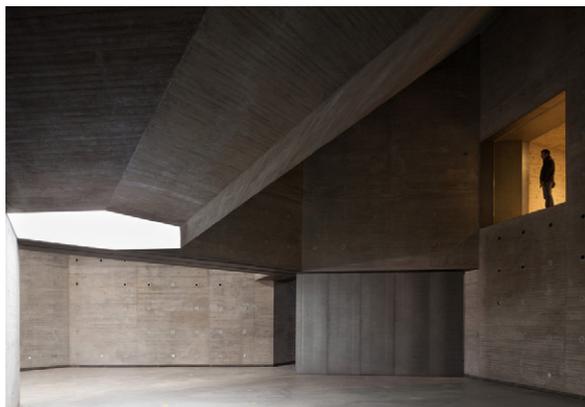


Fig III.1\_7

## Espacio Andaluz de Creación Contemporánea.

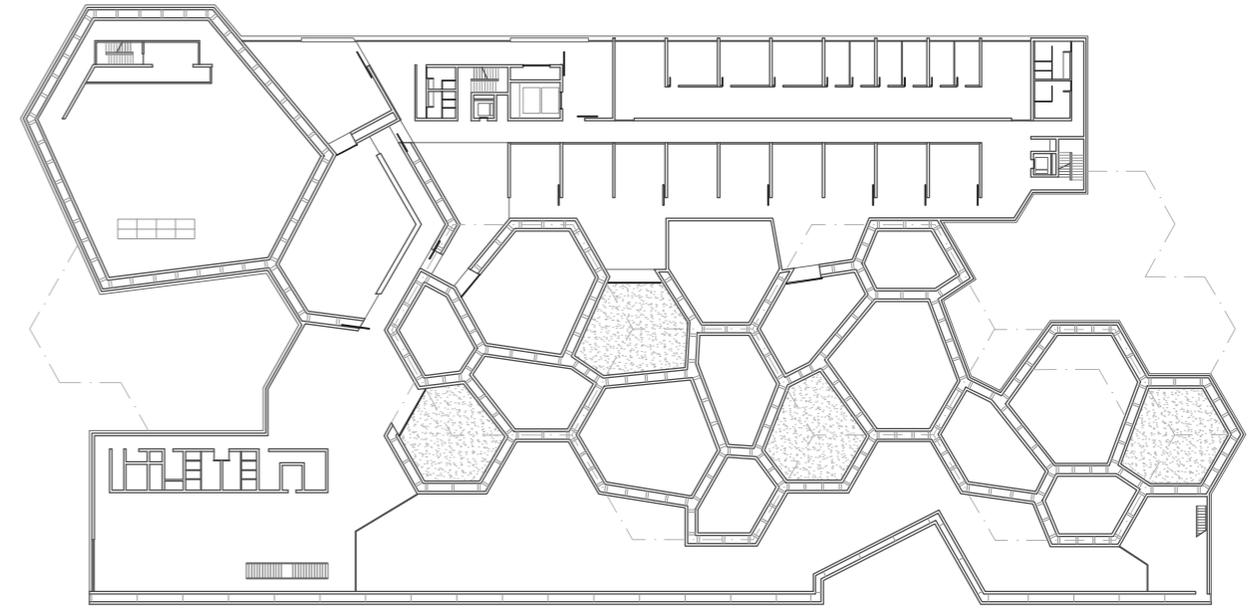
Córdoba, España (2013).  
Nieto y Sobejano.

El edificio establece una relación con las mallas geométricas islámicas y con la arquitectura hispano-musulmana presentes en la ciudad de Córdoba.

Genera una pieza hexagonal irregular de hormigón que por adición va creando las distintas salas y patios. Esta pieza geométrica es la generadora de todo el proyecto desde su organización formal interna hasta sus acabados.

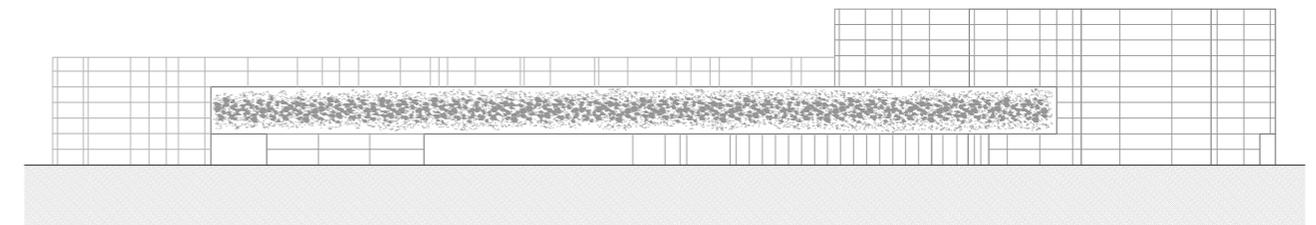
El conjunto se configura como recintos independientes vinculados a una calle pública. Esta se concibe como un lugar de cruce y de encuentro con la posibilidad de convertirse en ciertos momentos en ampliación de las salas adyacentes, transformándose en una única sala de exposición donde confluyen las distintas funciones del edificio.

La fachada que se enfrenta al río se reviste con la misma forma geométrica configurándose una pantalla que juega con zonas opacas y perforadas. A través de estas perforaciones se filtra la luz natural que ilumina de una forma tamizada la calle interior cubierta. Estos paneles opacos conforman también las cubiertas planas o con la pendiente que requieren los lucernarios de cada sala.



PLANTA

Fig III.1\_8 *Elaboración propia.*



ALZADO TRASERO

Fig III.1\_9 *Elaboración propia.*



Fig III.1\_10



Fig III.1\_11



Fig III.1\_12

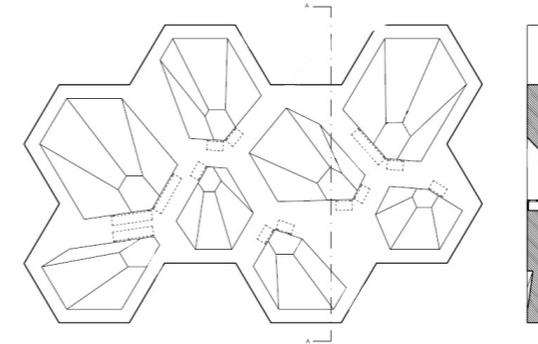
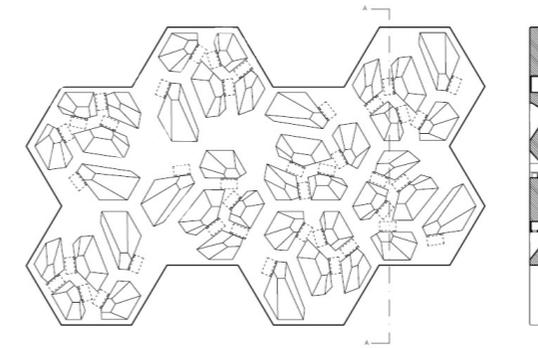
Para su construcción se utilizó el sistema de GRC, formado por paneles prefabricados de hormigón armado reforzado con fibra de vidrio en su núcleo.

Tras los paneles de GRC que conforma la fachada del río se colocan lámparas de tipo LED que permiten generar imágenes, textos o colores los cuales se verán reflejados por la noche en la superficie del río.

Gracias a la modulación de estos sistemas, la fachada se compone por 12 tipos de paneles prefabricados blancos y perforados, que irán maciándose unos con otros hasta consolidar la envolvente del conjunto.

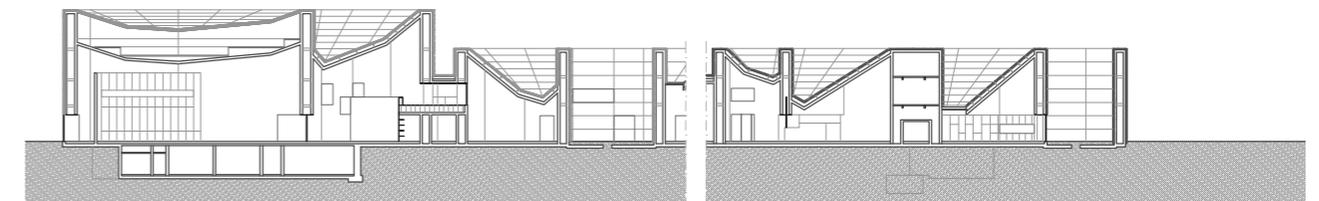
Quedan sujetos al muro de hormigón portante a través de una estructura metálica auxiliar de bastidores de tubos que se atornillan al muro y a los paneles.

La elección de este nuevo sistema constructivo viene dada gracias a las propiedades de este material que resuelven la impermeabilización de la fachada, el aislamiento térmico y la facilidad para conseguir la forma deseada.



DETALLES TIPOS PANEL GRC

Fig III.1\_13



SECCIÓN LONGITUDINAL

Fig III.1\_14 *Elaboración propia.*



Fig III.1\_15

**Catedral de Brasilia.**  
 Brasilia, Brazil (1959-1970).  
 Oscar Niemeyer.

Se trata de una obra rompedora con la estética y forma del momento.

Se recurre a la pintura blanca para el acabado, obviando los valores de textura y color del material.

En cuanto a técnica, se realiza mediante elementos singulares prefabricados que actúan a modo de costillas verticales unidas de forma anular en su parte superior.



Fig III.1\_16

**Ópera de Sidney.**  
 Sidney, Australia (1959-1973).  
 JØrn Utzon.

Se constituye como todo un hito, no solo para la ciudad, sino en todo el mundo, gracias a su peculiar estética. Se obtiene mediante cascos de esfera que supusieron años de estudio para hacer posible su realización.

La utilización de prefabricados, junto con su complejidad estructural le conceden un alto valor técnico a la obra.

Sin embargo, la pintura de acabado priva al resultado final de color y textura aportados por el material.



Fig III.1\_17

**Centro Cultural Heydar Aliyev.**  
 Bakú, República de Azerbaiyán (2013).  
 Zaha Hadid.

El dominio de la forma curva, da lugar a un volumen en el que el hormigón parece ondularse a placer como si de una lona se tratase.

En lo que respecta a la técnica, se recurre a piezas prefabricadas de GRC curvas, proporcionando un acabado continuo sin aristas.

Este sistema de prefabricación permite controlar los acabados dando lugar a la textura y color deseados a partir del propio hormigón.

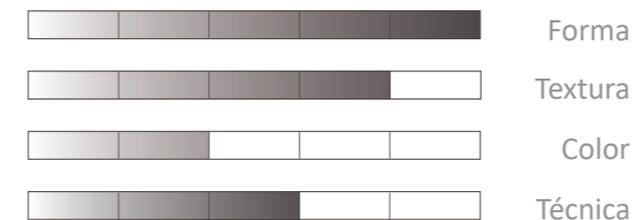


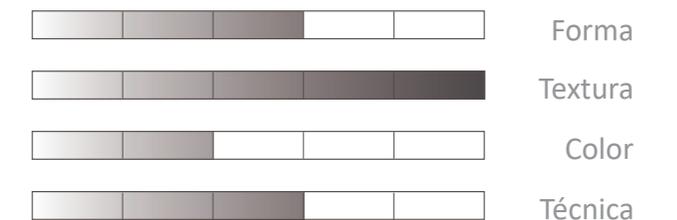
Fig II.1\_18

**Espacio Andaluz de Creación Contemporánea.**  
 Córdoba, España (2013).  
 Nieto y Sobejano.

Todo el conjunto se configura a partir de la pieza hexagonal, dando lugar a un volumen exterior rectangular y rígido, mientras interiormente se deforma a placer mediante la combinación de piezas hexagonales.

Todo el revestimiento exterior se realiza mediante paneles de GRC que dan lugar a una textura totalmente diseñada y cuidada a base de rehundidos y perforaciones.

Este sistema le permite el acabado de color blanco con el propio material.



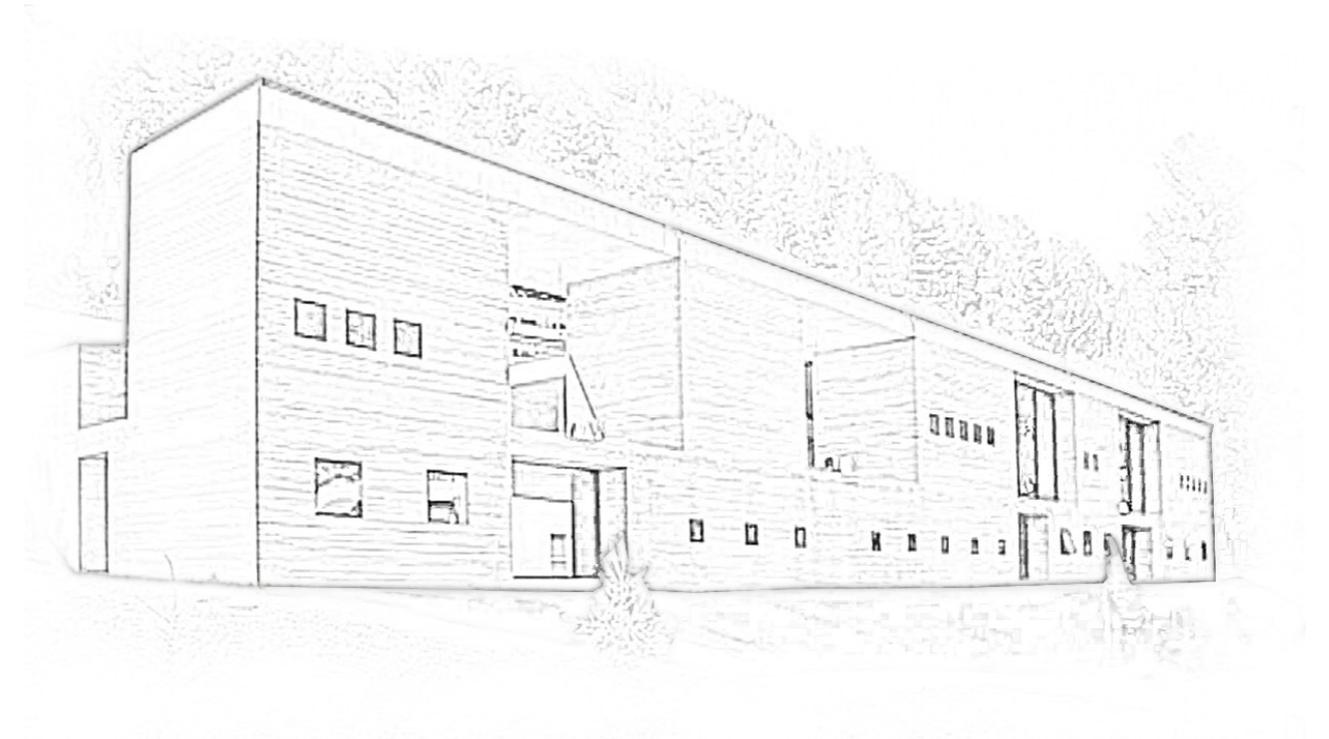
## III.2 Sistemas mixtos.

Los sistemas mixtos corresponden a técnicas constructivas que combinan el hormigón con otros materiales.

A lo largo de la historia, se han dado algunos casos en los que el hormigón se ha combinado con otra serie de materiales por diversos motivos. El más destacado y antiguo del que se tiene constancia es el ya citado Panteón, en el que la “Ópera laterica” de la que se compone el anillo perimetral conformado por los muros, se realiza mediante hormigón y ladrillo.

En este caso, cabe suponer que dadas las cantidades de material utilizado en dicha obra, pudo deberse a cuestiones de aligeramiento principalmente, pero no todas las aplicaciones de estos sistemas se deben a ello.

Así, los ejemplos que analizados a continuación, recurren a dicho sistema por motivos diversos, como puede ser potenciar las propiedades mecánicas del hormigón, al mismo tiempo que el acabado o terminación responden a otros aspectos del proyecto.



**TERMAS DE VALS.**

Fig III.2\_1 *Elaboración propia.*

.....  
**Museo Nacional de Arte Romano de Mérida.**

Se trata de una arquitectura que hace referencia a las construcciones tradicionales romanas, tanto en su técnica como en su materiales, pero llevado desde la modernidad. Su interior queda definido por esbeltos arcos de medio punto de ladrillo los cuales actúan como encofrado perdido par en su interior verter el hormigón rigidizando la estructura además de dotarla de mayor capacidad portante.

**Casa del Horizonte.** Esta vivienda se proyecta como referencia a la línea del horizonte, mostrando gran relación con la naturaleza y su entorno. Se construye mediante unos gruesos muros de hormigón armado a los que se le incorpora la piedra del lugar, una cuarcita de gran dureza, formando de esta manera muros de hormigón ciclópeo, con diferentes texturas según las necesidad que dictan los espacios que definen.

**Escuela de Artes Visuales de Oaxaca.** El conjunto queda conformado por dos tipos de edificios construidos con piedra y con tierra compactada. Estos últimos consisten en realizar una estructura portante a base de tierra con un 15% de cemento. Da lugar a una edificación que se caracteriza por su textura irregular proporcionada por la propia naturaleza de la tierra además de proporcionar una condiciones climatológicas en su interior muy favorables tanto térmica como acústicamente.

.....



**Museo Nacional de Arte Romano.**  
 Mérida, España (1980-1986).  
 Rafael Moneo.

Fig III.2\_2



**Casa del Horizonte.**  
 Salamanca, España (2006).  
 Jesús Aparicio.

Fig III.2\_3



**Escuela de Artes Visuales.**  
 Oaxaca, México (2008).  
 Mauricio Rocha.

Fig III.2\_4



Fig III.2\_5



Fig III.2\_6



Fig III.2\_7

## Termas de Vals.

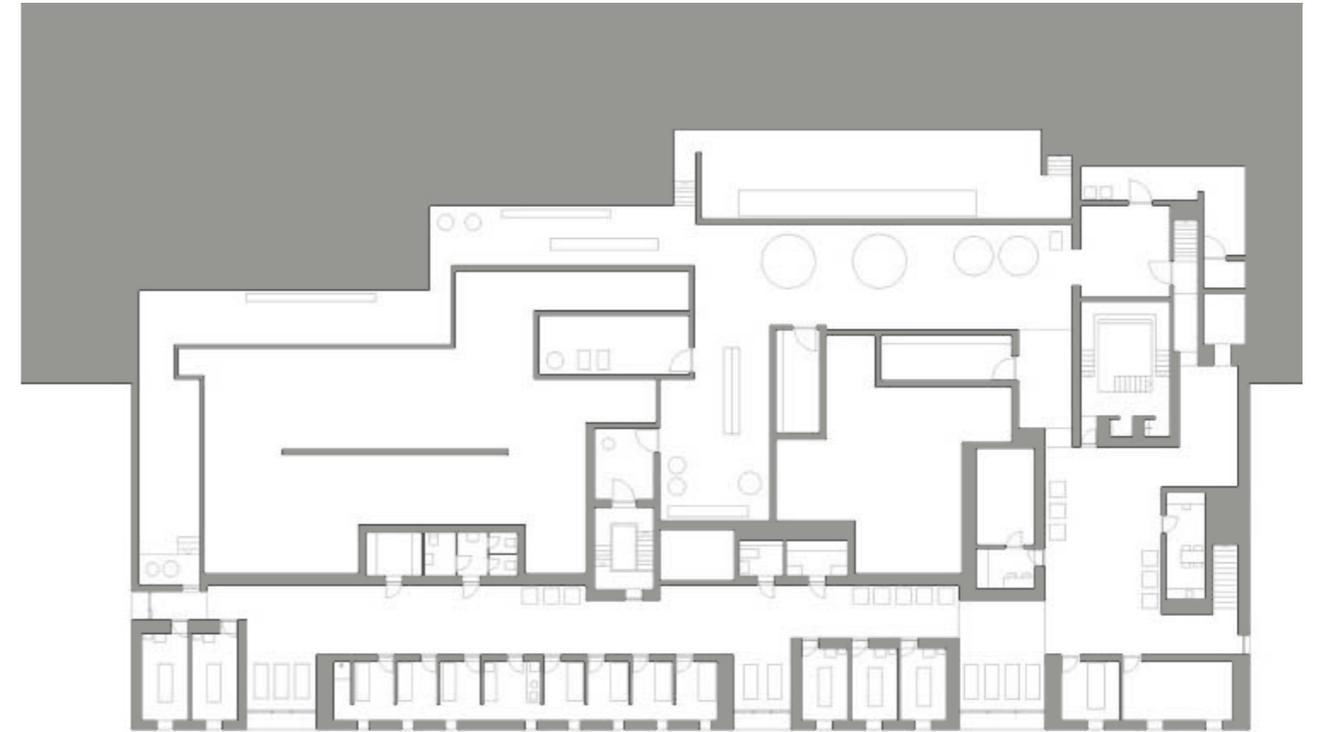
Vals, Suiza (1996).  
Peter Zumthor.

La idea era volver a los orígenes recreando una gruta laberíntica de piedra y agua que fuera consolidando lugares místicos y arcaicos. No se quería construir un volumen arquitectónico, sino ambientes especiales en los espacios que encerraba la construcción.

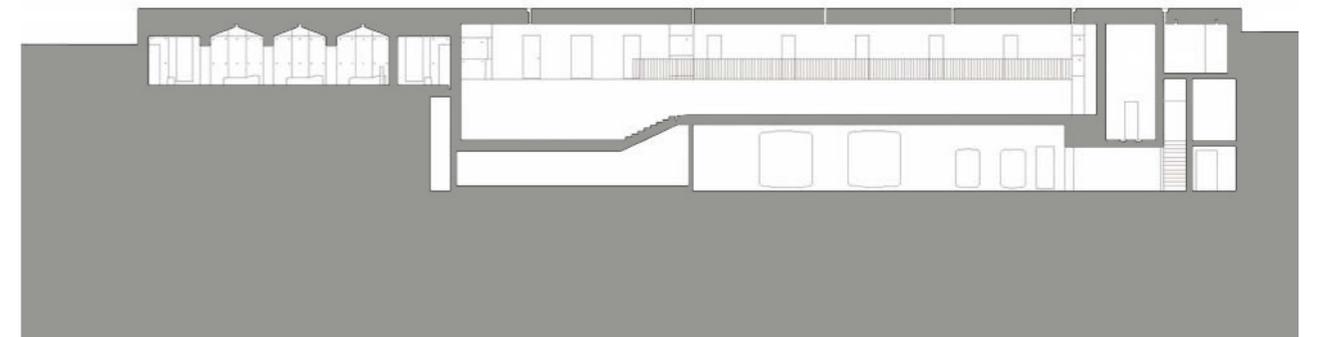
Mantiene una relación respetuosa con el paisaje, construyendo el edificio con la misma piedra del lugar, una piedra verdosa, metamórfica y muy estratificada. Para resaltar aun más el vínculo con el paisaje, las termas quedan apoyadas parcialmente dentro de la ladera, insertándose y formando parte de ella, pero sin quedar enterrada.

El volumen se concibe como un macizo geométrico de piedra al que se le han ido substrayendo partes, dando lugar a cajas que acogen los distintos usos. Genera una sensación de liviandad en el interior, al dejar unas fisuras de luz, en las uniones entre muros y cubierta, dando la impresión de quedar, esta última, suspendida en el aire.

El conjunto se completa con dos grandes superficies de agua, una interior rodeada de salas, y otra exterior. Sobre la piscina interior aparecen 16 lucernarios que introducen una luz azulada al edificio que intensifica el color de la roca.



PLANTA  
Fig III.2\_8



SECCIÓN LONGITUDINAL  
Fig III.1\_9



Fig III.2\_10

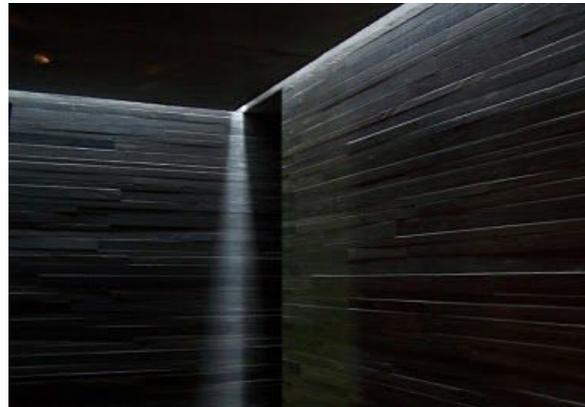


Fig III.2\_11



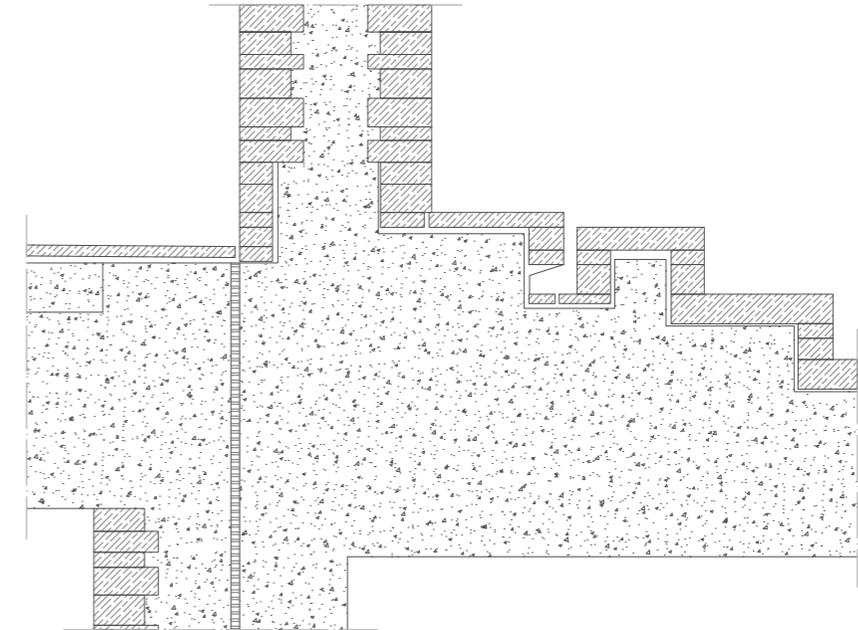
Fig III.2\_12

La construcción del edificio se realiza agregando hiladas de piezas de cuarcita de Vals con tres anchos distintos, dispuestos en una especie de estratificación azarosa que le otorga un carácter aleatorio natural, pero que en realidad sigue un orden.

Estas piedras no actúan de revestimientos, sino más bien, como encofrados perdidos, dentro de los cuales se verterá el hormigón para otorgarle a los distintos paramentos las propiedades resistente para sustentar la cubierta y estabilizar el conjunto.

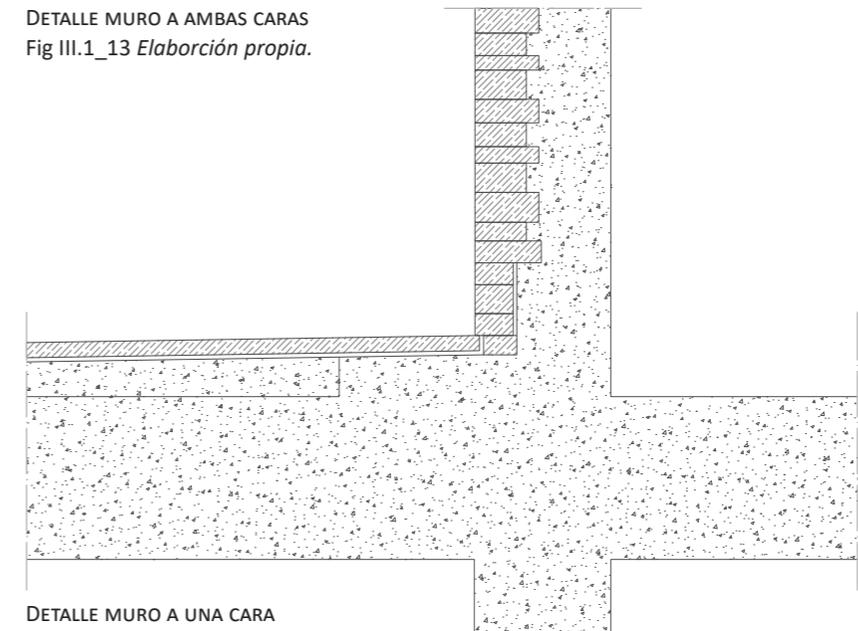
Con este mismo sistema se conforman todos los paramentos verticales de las termas sin excepciones. El pavimento del suelo también queda conformado con esta piedra, pero, se realiza mediante un minucioso despiece, que guía el recorrido a través de los distintos espacios.

Para la construcción de las termas se utilizaron 60.000 piezas de cuarcita con diferentes acabados, utilizadas con gran dignidad y respeto hacia el entorno, dejando constancia de su gran relación con la naturaleza y la roca del lugar.



DETALLE MURO A AMBAS CARAS

Fig III.1\_13 *Elaboración propia.*



DETALLE MURO A UNA CARA

Fig III.1\_14 *Elaboración propia.*



Fig III\_15

**Museo Nacional de Arte Romano.**  
Mérida, España (1980-1986).  
Rafael Moneo.

El museo alude en su estructura interna a la majestuosidad de las obras romanas tanto en forma como en escala.

Pese a la textura del ladrillo visto en consonancia con el proyecto y los espacios interiores, en lo que respecta a este trabajo, no es posible valorar las cuestiones de color y textura del hormigón.

En la parte técnica, se hace uso de un elemento mixto, confinando las labores estructurales al hormigón interno, mientras que la estética se le confiere al ladrillo cerámico.

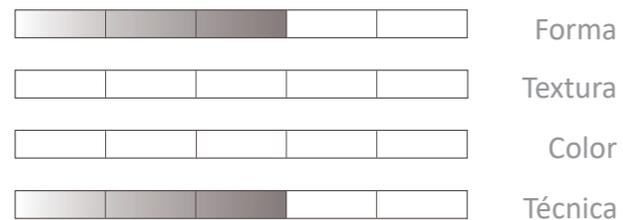


Fig III.2\_16

**Casa del Horizonte.**  
Salamanca, España (2006).  
Jesús Aparicio.

Los aspectos formales del proyecto se configuran con elementos simples de trazados rectos y planos. La realización del despiece de elementos pétreos y, su adhesión a los encofrados previa a su hormigonado, originan una alta valoración en cuanto a su textura.

La composición de dichos muros con la piedra del lugar, le otorga una cierta coloración que vincula el proyecto con el lugar.



Fig III.2\_17

**Escuela de Arte Visuales.**  
Oaxaca, México (2008).  
Mauricio Rocha.

El conjunto se configura por la combinación de elementos prismáticos, dando lugar a trazados rectos y sencillos.

Realiza un tipo de hormigón a base de tierra del lugar con apenas un 15% de cemento, lo que da lugar a grandes muros de textura terrosa, que muestran un ritmo de tongadas y, un color que lo mimetiza con el entorno.



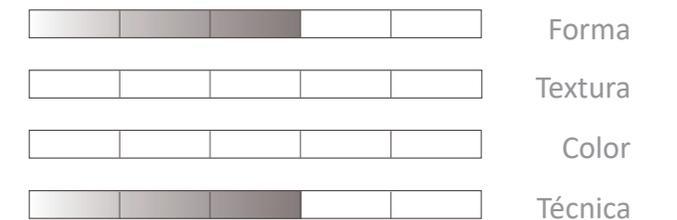
Fig III.2\_18

**Termas de Vals.**  
Vals, Suiza (1996).  
Peter Zumthor.

Responde a geometrías puras, relativamente sencillas, que dan lugar a un gran volumen de carácter masivo que se introduce en la montaña.

Técnicamente se trata de un sistema mixto que combina el hormigón con las piezas de acabado de cuarcita de Vals.

Este hecho conlleva la valoración nula en cuanto a los aspectos estéticos del hormigón.

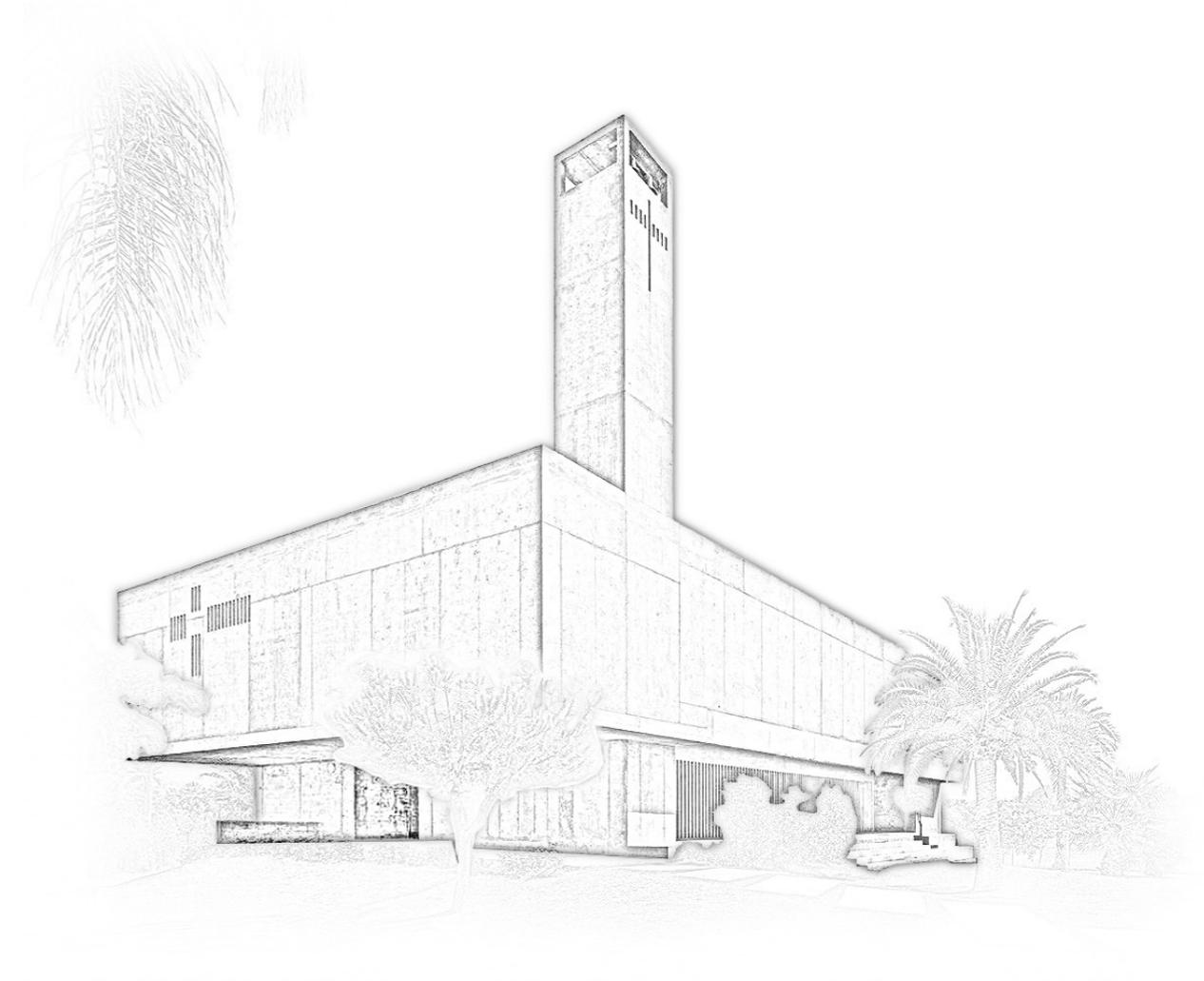


### III.3 Sistemas de múltiple pared de hormigón armado.

Otro de los avances más recientes en el ámbito del hormigón se trata del innovador sistema constructivo del ELES DOPA. Surge como método de abaratamiento de los costes debidos al exceso de material de las estructuras, así como, solución a los problemas de aislamiento que presenta las construcciones en hormigón armado convencional.

Lo que se propone es la utilización del menor material posible, pero sin perder sus propiedades mecánicas. Esto se lleva a cabo suprimiendo el material que no comprometa la resistencia mecánica de los elementos.

Se trata de una doble o múltiple pared de hormigón armado, dispuestas en paralelo con una determinada separación, y cosidas entre sí cada cierta distancia, generando un elemento único compuesto por dos o más delgadas láminas separadas entre sí, lo que garantiza una gran inercia y un buen comportamiento como elemento portante. En el interior se inserta, de forma general, paneles de poliestireno expandido, que lo convierte en un elemento muy apto para las envolventes térmicas de los edificios.



**IGLESIA DE PLAYA GRANADA.**

Fig III.3\_1 *Elaboración propia.*

Al tratarse de una patente local y ser un sistema constructivo relativamente nuevo no se dispone de muchos grandes ejemplos que puedan servir de referencia, aun así, se tendrán en cuenta los mas reseñables realizados con este sistema para tratar de entender el funcionamiento del mismo.

**Cubierta de Vivienda Unifamiliar.** Se trata de una vivienda unifamiliar situada en un terreno bastante escarpado y con un presupuesto bajo. Para abaratar los costes se utilizaron técnicas locales como ELESDOPA. La estructura de hormigón de doble lámina con aislamiento interior supuso un 20% de ahorro en costes económicos en relación a una cubierta metálica.

**Viveros de Empresas del Padul.** Su característica más evidente es su cascarón auto portante de fachada, realizado con una doble pared de hormigón armado y núcleo de porexpan, resolviendo de este modo el aislamiento con el exterior.

**Colegio Cerrillo de Maracena.** Las bases de partida de este edificio es la economía y la eficiencia energética. Una vez más se ejecutó por el sistema ELESDOPA, con una doble pared de hormigón proyectado y 20 cm en su núcleo de aislamiento térmico consiguiendo de esta forma dejar visto el hormigón tanto en el exterior como en el interior.



**Cubierta de Vivienda Unifamiliar.**  
Granada, España (2012).  
Gil-Bartolomé.

Fig III.3\_2



**Colegio Cerrillo Maracena.**  
Granada, España.  
Elisa Valero.

Fig III.3\_3



**Viveros de Empresas del Padul.**  
Granada, España. (2013).  
Jorge Suso Fernández-Fígares.

Fig III.3\_4



Fig III.3\_5



Fig III.3\_6

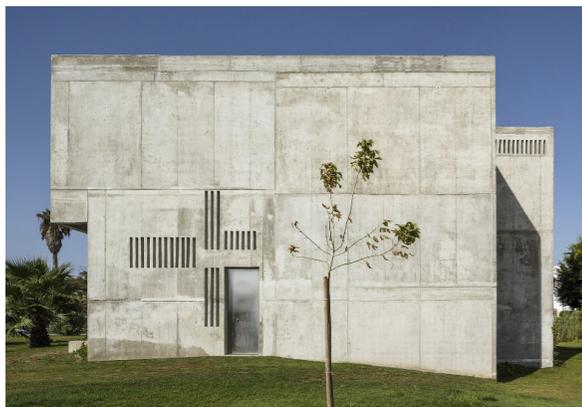


Fig III.3\_7

## Iglesia de Playa Granada.

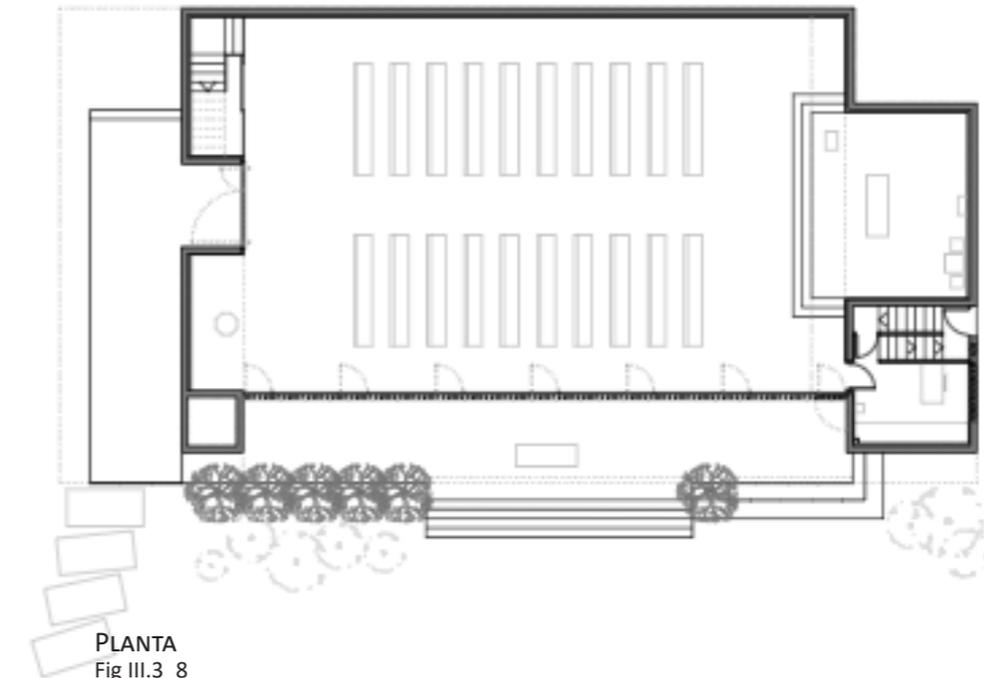
**Granada, España (2015-2016).**  
**Elisa Valero.**

Queda influenciada por los tradicionales templos cristianos, pero se materializa con un lenguaje contemporáneo. Se trata de una pieza de hormigón con una escala contenida situada en un jardín público respetando los árboles que la rodean.

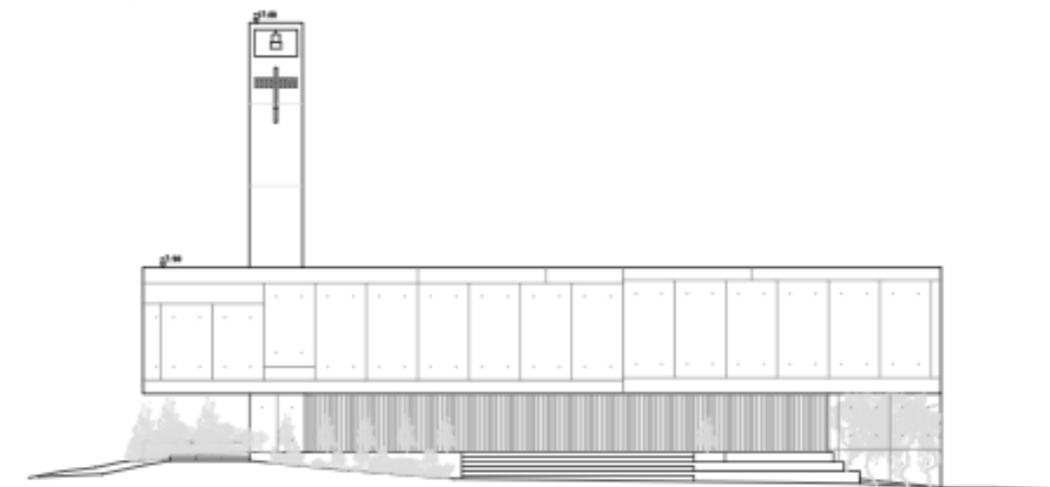
Juega con las texturas del hormigón dejándolo visto en su cara interior y exterior. Desnuda la propia arquitectura dejando que la escala, la textura y la luz cobren protagonismo.

La luz que penetra en su interior es la única ornamentación visible en el edificio, iluminando los espacios de tres formas diferentes: un lucernario orientado al altar por donde sale el sol; una perforación sobre el coro que proyecta al atardecer una luz en forma de cruz sobre el altar; y por último una celosía en el lateral sur abierta al jardín.

La topografía irregular hace que desde el oeste se pudiera acceder desde el jardín, mientras que, desde el este, la cripta se convierte en basamento debido al alto nivel freático existente en el lugar. Esto también da lugar a un juego de escala, accediendo bajo un volumen de espacio reducido que contrastará con la doble altura del espacio interior.



PLANTA  
Fig III.3\_8



ALZADO FRONTAL  
Fig III.3\_9



Fig III.3\_10



Fig III.3\_11



Fig III.3\_12

Toda la iglesia está íntegramente construida con hormigón utilizando el nuevo sistema de Elesdopa. Se trata de elementos estructurales de doble pared de hormigón armado liberando aquel material que no contribuye a su funcionamiento mecánico.

Deja la textura del hormigón vista en ambas caras, resolviendo, el aislamiento térmico y el comportamiento acústico, con la variación de espesores de su núcleo interior. Con este sistema, genera un techo irregular, que pretende evitar el paralelismo entre las caras interiores de los forjados de suelo y techo, generando una acústica adecuada para el correcto funcionamiento del edificio.

La forma de ejecución de los paramentos, consiste en disponer el armado correspondiente a cada cara del muro a modo de parrilla vertical, entre las que se disponen los paneles de aislamiento térmico con unos conectores cada cierta distancia. Tras disponer las parrillas a ambos lados, se enlazan mediante las patillas de los conectores, y posteriormente se procede al proyectado del hormigón.

De esta manera se lleva a cabo el sistema de Elesdopa, el cual va cobrando resistencia conforme va endureciendo y fraguando el hormigón, obteniendo unos paramentos con las texturas de hormigón visto en cualquiera de sus caras.

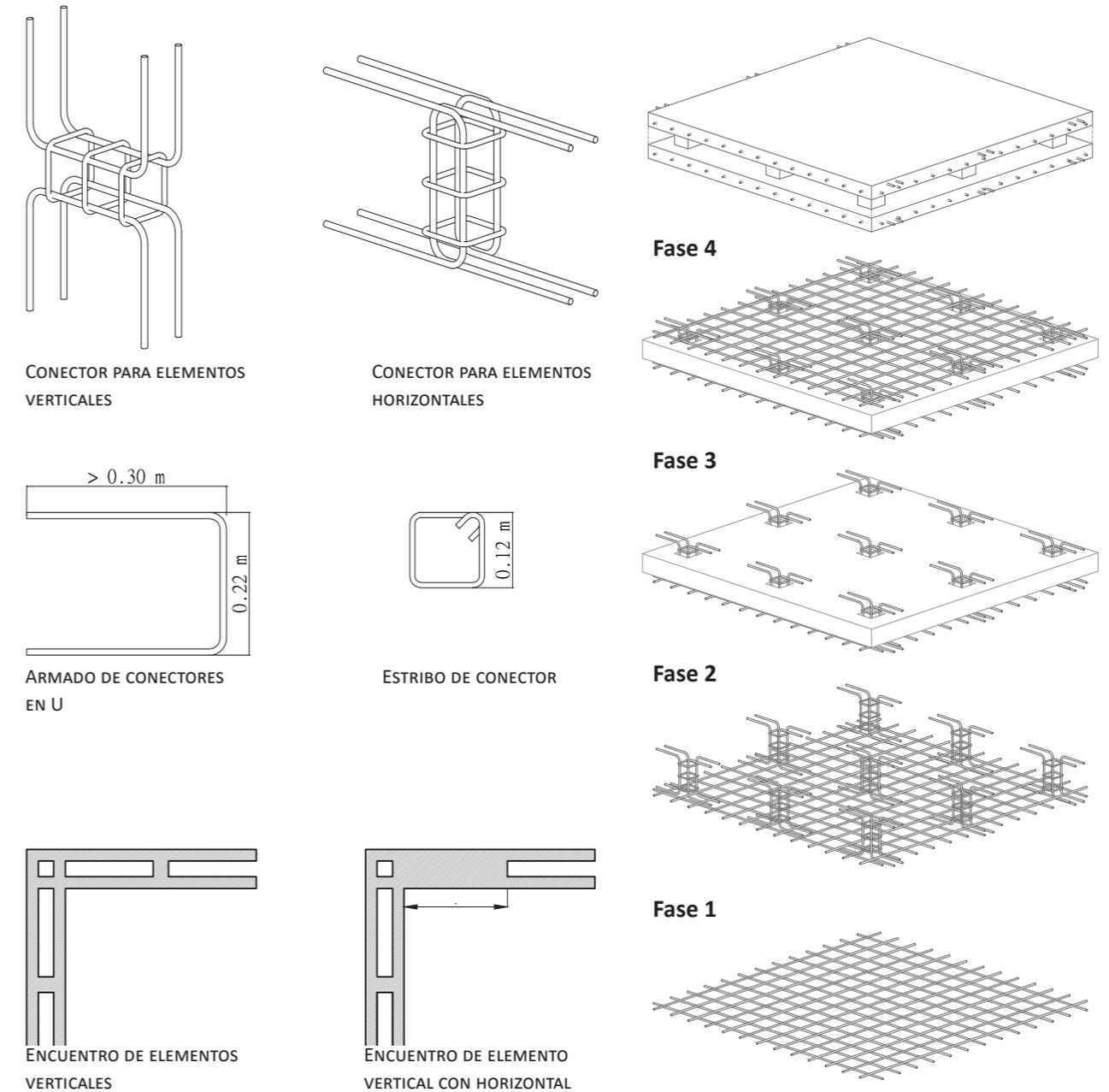


Fig III.3\_13 Elaboración propia.

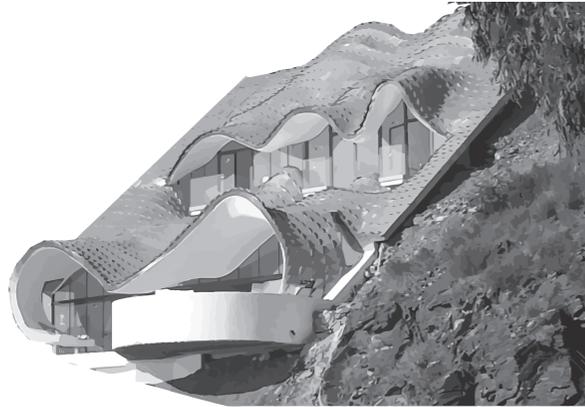


Fig III.3\_14

**Cubierta de Vivienda Unifamiliar.**  
Granada, España (2012).  
Gil-Bartolomé.

La cubierta juega con las formas onduladas, apoyándose en la técnica y la fase de encofrado, dando lugar a un elemento ondulado de cierta innovación formal.

El sistema de doble pared de hormigón facilita su ejecución además de hacerlo apto como único elemento que soluciona la envolvente tanto estructural, como térmicamente.

Al quedar revestido por ambas caras, no cabe valoración sobre textura o color del material.

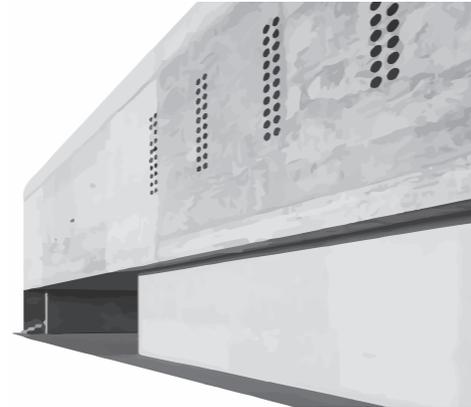
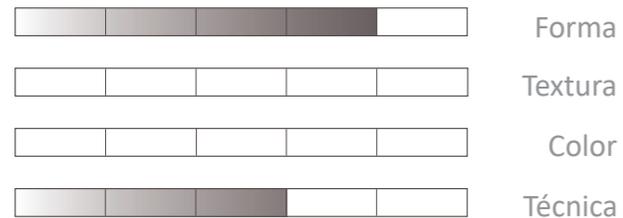


Fig III.3\_15

**Colegio Cerrillo Maracena.**  
Granada, España.  
Elisa Valero.

La utilización del sistema de doble pared, permite resolver la envolvente térmica dejando el elemento visto tanto interior como exteriormente.

Esto permite un cierto cuidado de las texturas resultantes de los encofrados, con los tonos naturales del hormigón.

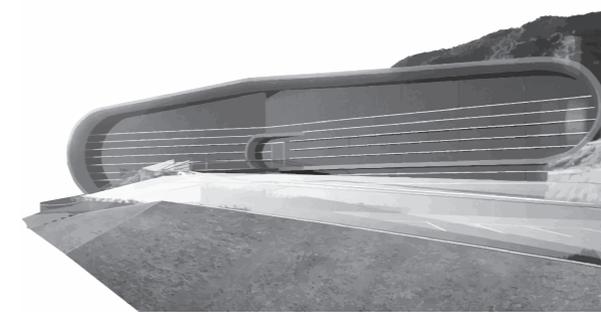
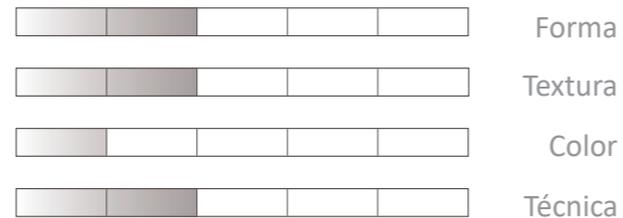


Fig III.3\_16

**Viveros de Empresas del Padul.**  
Granada, España (2013).  
Jorge Suso Fernández-Figares.

Una vez más, el sistema de doble pared permite resolver la pieza de trazado curvo en un único gesto, consiguiendo una forma de cierta complejidad en su ejecución mediante los elementos de encofrado.

La envolvente queda revestida en su totalidad, ocultando textura y color del hormigón.

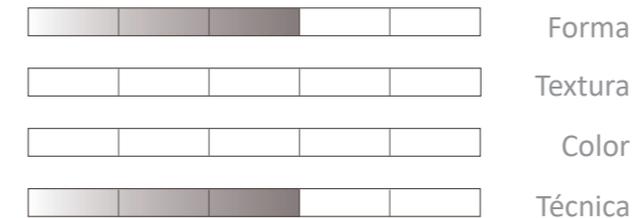
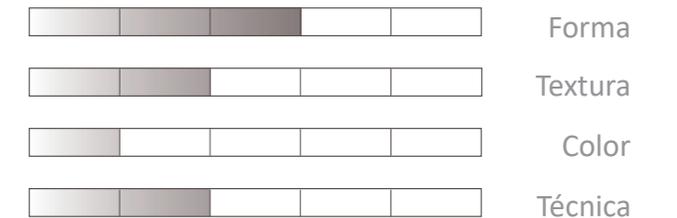


Fig III.3\_17

**Iglesia de Playa Granada.**  
Granada, España (2015-2016).  
Elisa Valero.

Toda la envolvente se resuelve mediante un sistema de doble pared y, muros de hormigón. Esto permite la creación de vuelos de determinada envergadura, además de, otorgarle la robustez a la pieza característica del hormigón, pero aligerado interiormente.

El hormigón queda visto, aunque sin tratamiento del color, pero buscando un aspecto sobrio en el que resalta el despiece de los encofrados que quedan plasmados en la piel exterior del elemento.



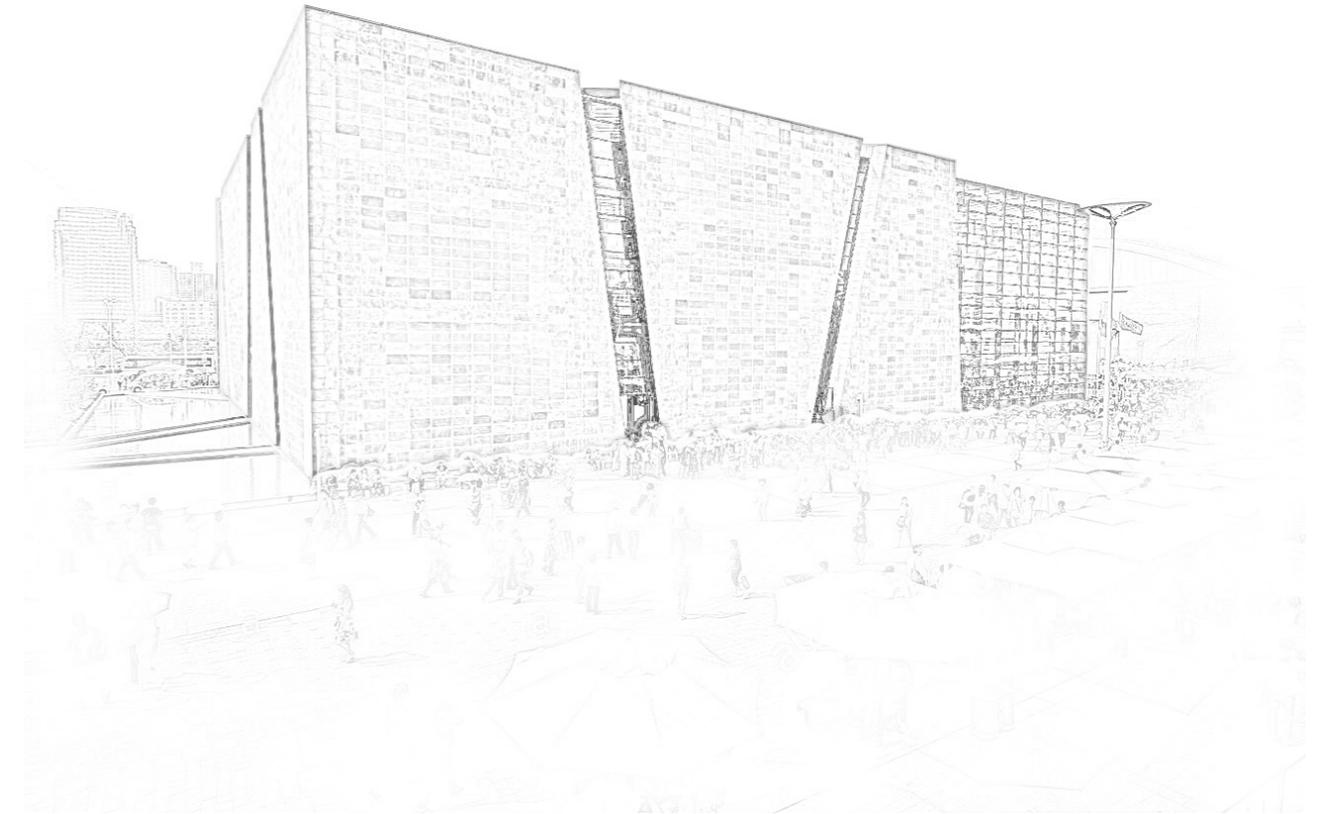
## III.4 Hormigón translúcido.

Se trata de un material novedoso realizado con hormigón que deja pasar la luz a través de él, pero, sin perder las características mecánicas tan favorables de este material.

Genera una iluminación tenue permitiendo observar formas y sombras a través de él, incluso con espesores de varios metros, dando na nueva percepción del elemento como material ligero.

Estas construcciones se realizan a partir de piezas prefabricadas que pueden variar tanto en tamaño como en el grado de opacidad del material.

Existe dos técnicas para conseguir esta propiedad en los hormigones, mediante la incorporación de fibra óptica o con polímeros. Algunas empresas han dado un paso más y además de la incorporación de la fibra óptica han añadido madera y metacrilato, confiriéndole a los materiales propiedades acústicas además de transparencia. Sin embargo, otras han experimentado con la cantidad y el grosor de las fibras consiguiendo mayores capacidades mecánicas en los hormigones translúcidos.



**PABELLÓN ITALIANO DE LA EXPO DE SHANGHAI.**

Fig III.4\_1 *Elaboración propia.*

Al tratarse de un material bastante reciente y estar aun en una fase de divulgación, de darse a conocer, las obras arquitectónicas que se pueden encontrar actualmente construidas, donde se haga uso del hormigón translúcido, son muy escasas. No obstante se hablará de algunas obras donde este sistema se ha utilizado sacando el máximo partido a sus propiedades.

El **Centro Pompidou de Málaga**. Se muestra como un gran basamento opaco del que emerge un cubo transparente construido con acero y metal, debajo del cual se distribuyen todas las funciones del museo.

Al configurarse como una construcción subterránea, el mayor problema era la iluminación, descartando la idea de sobrecargar las instalaciones de luz artificial, por el gran gasto de consumo eléctrico, íntimamente ligado a un incremento de temperatura y necesidad de refrigeración, que conlleva un funcionamiento energético deficiente del edificio. A esto se suma la necesidad y beneficio de la luz natural en el interior de los edificios, lo que terminó de condicionar el desarrollo del proyecto y el empleo del material estudiado.

La solución que se llevó a cabo fue la utilización de los paneles de hormigón translúcido como revestimiento de los patios interiores consiguiendo de este modo la transmisión de luz tamizada, una envolvente uniforme y lo más importante, una reducción de la temperatura.



**Centro Pompidou.**

Málaga, España (2013).

Javier Pérez de la Fuente, Juan António Marín Malavé.

Fig III.4\_2



Fig III.4\_3



Fig III.3\_4



Fig III.4\_5

## Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai.

Shanghai (2010).  
Giampaolo Imbrighi.

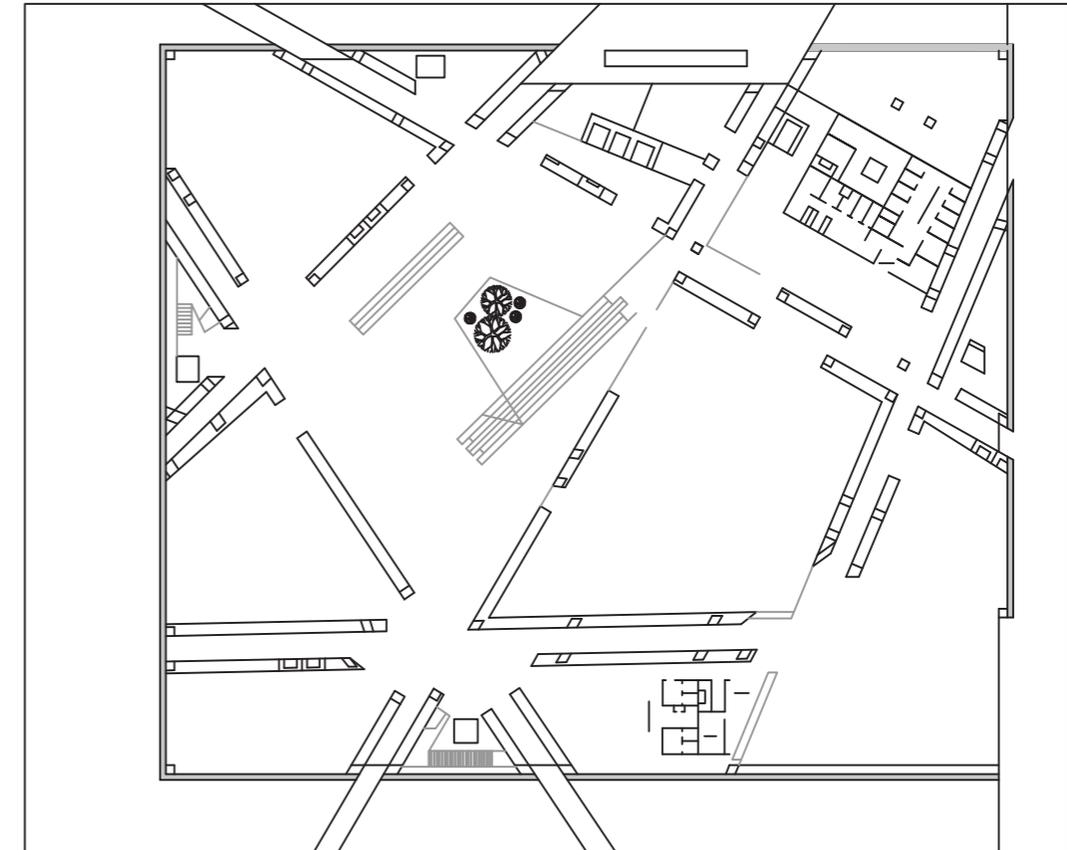
El diseño parte de la idea de representar un tejido urbano que hiciera referencia tanto a las ciudades italianas como a los barrios de Shanghai, traduciéndose en su trazado de calles en el interior.

La planta cuadrada del pabellón recuerda a los esquemas de las ciudades con sus barrios, callejones y plazas. La envolvente de hormigón translúcido que delimita el pabellón de 18 metros de altura, queda fracturada por unos cortes que siguen la misma idea que su diseño en planta.

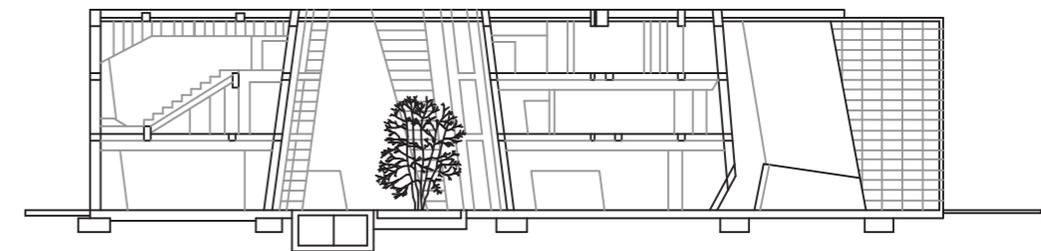
Provoca un efecto de dinamismo al combinar paneles de diferentes opacidades. Estos paneles translúcidos permiten que, por el día, la claridad exterior inunde las instalaciones ahorrando energía eléctrica, mientras que, por la noche, permite filtrar las luces de su interior de forma inversa, iluminando la ciudad.

La iluminación interior crea un efecto visual particular al cubrir los paneles de hormigón translúcido con vidrio.

En una de sus esquinas cuenta con un volumen completamente vítreo de suelo a techo, que junto con los cortes realizado a la envolvente del pabellón, generan unas galerías de aire que permite regular la ventilación interior.



PLANTA  
Fig III.4\_6 Elaboración propia.



SECCIÓN LONGITUDINAL  
Fig III.4\_7 Elaboración propia.



Fig III.4\_8



Fig III.4\_9



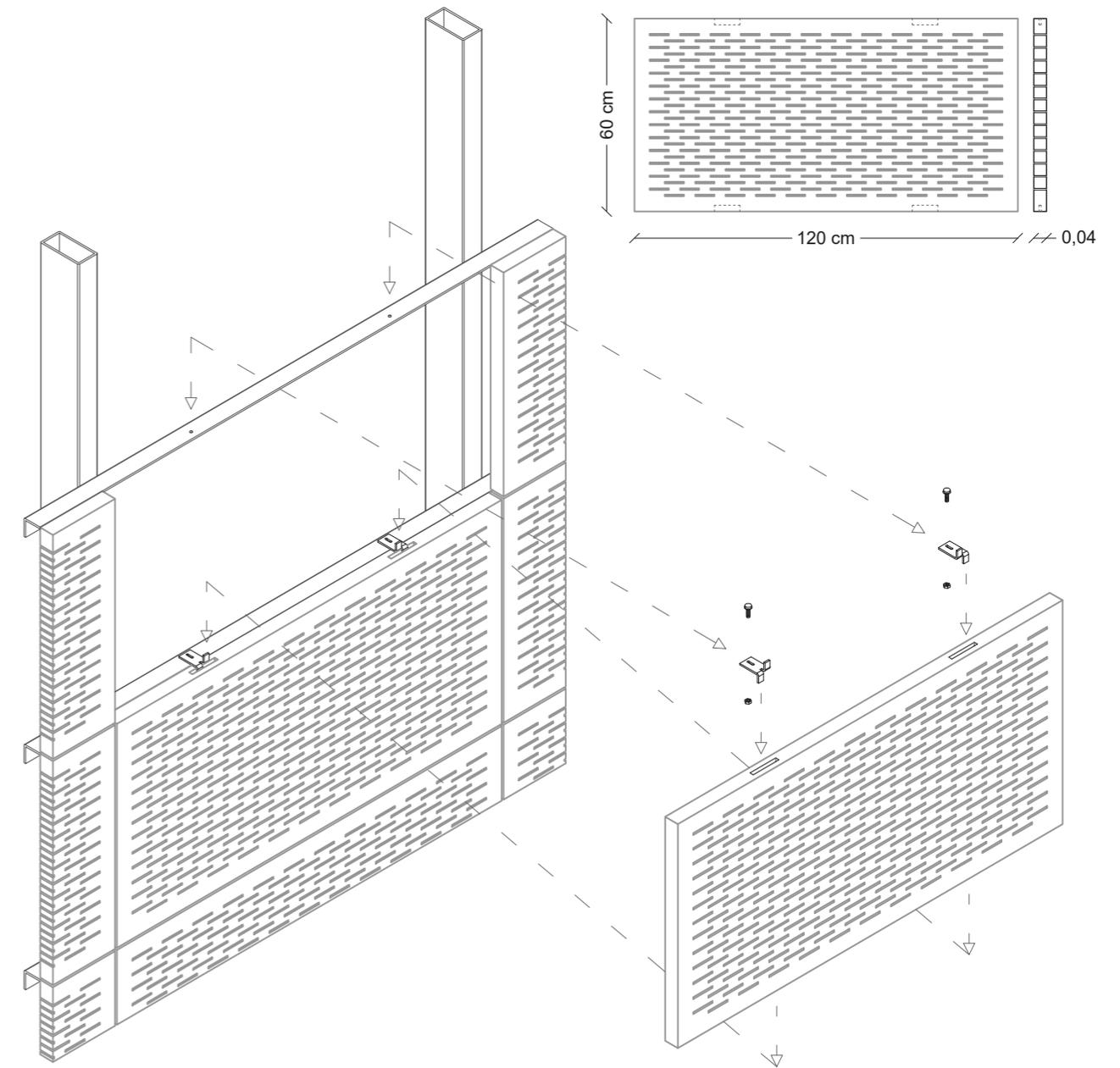
Fig III.4\_10

La fachada del pabellón de Shanghai, se conforma con un sistema de fachada ventilada garantizando un excelente comportamiento térmico. Se componen en su interior de unos paneles de PTFE (politetrafluoroetileno), polímeros con un buen aislamiento además de ser más ligeros que el vidrio, mientras que por el exterior se recubre con los paneles de hormigón prefabricado con diferentes grados de opacidad.

Estos paneles de hormigón prefabricado se conforman combinando un tamiz de cemento, reforzado con fibras de acero inoxidable para asegurar la dureza y garantizar la resistencia a la fisuración, y, resinas especiales de polímeros seleccionados, que interaccionan tanto con la luz solar como con la luz artificial. Además estos polímeros han sido tratados para que la transparencia no cambie con el paso del tiempo.

El modo de colocación de los paneles translúcidos se realiza mediante una subestructura metálica integrada a la estructura portante del propio pabellón. Esta recibe los paneles mediante anclajes, dispuestos a todo lo largo del borde, sellándose las juntas entre los paneles con una resina epoxi.

El uso de estos paneles de hormigón translúcido, hace que este pabellón responda a las eficiencias energéticas debido a la reducción del consumo de energía eléctrica, tanto para la iluminación, como para el acondicionamiento térmico.



DETALLES DE SISTEMA DE HORMIGÓN TRANSLÚCIDO  
Fig III.4\_11. Elaboración propia.



Fig III.4\_12

**Centro Pompidou.**

Málaga, España (2013).  
 Javier Pérez de la Fuente, Juan Antonio Marín Malavé.

Se muestra como un gran elemento a modo de basamento, de forma sencilla, haciendo uso de piezas de hormigón translúcido, permitiendo la entrada de luz natural al edificio. Se trata de un aplacado sobre subestructura metálica, conllevando una gran innovación sobre un sistema más tradicional.

Este nuevo tipo de hormigón confiere una nueva textura al elemento. Complementándose con unos nuevos tonos de color, relacionados con su composición y su permeabilidad a la luz.



Fig III.4\_13

**Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai.**

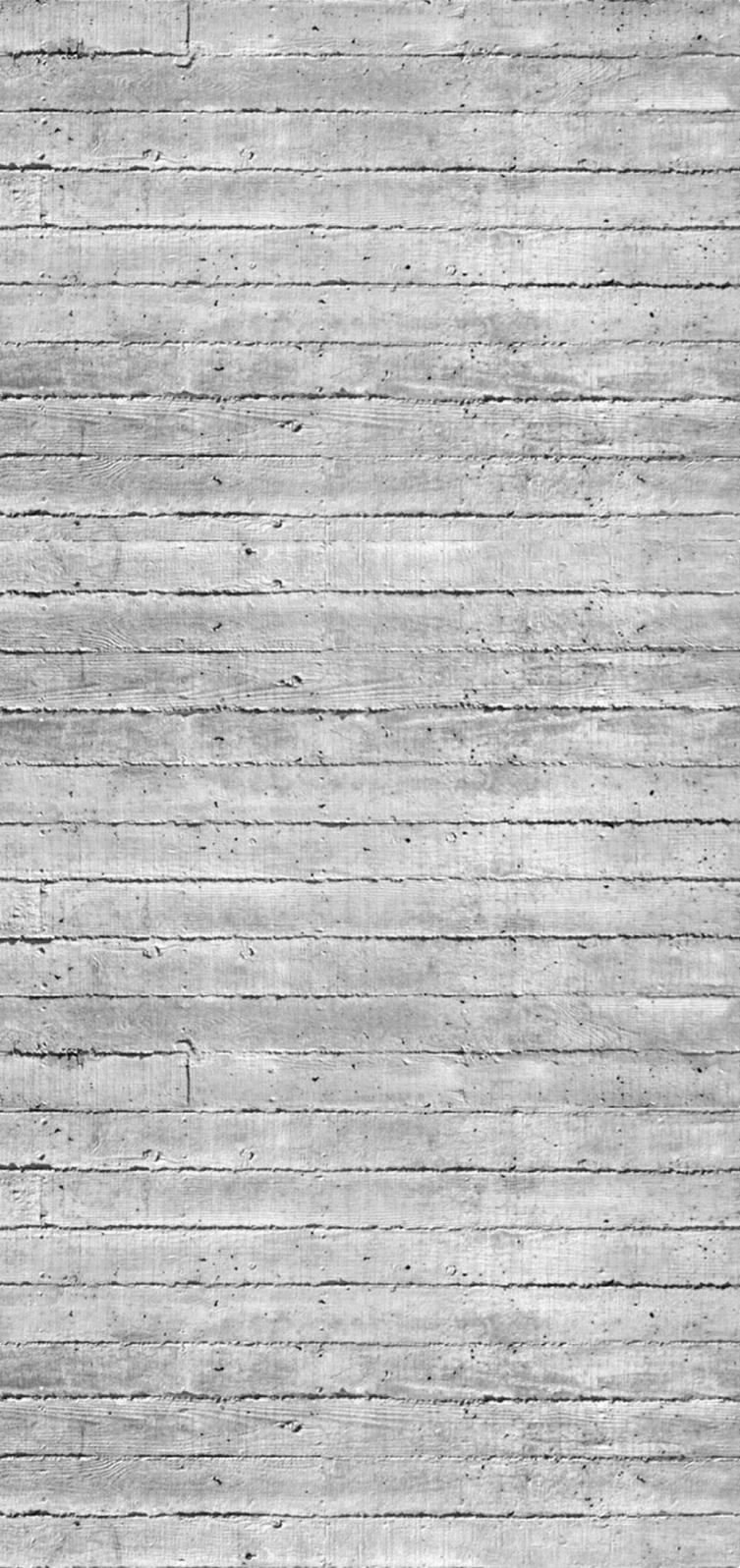
Shanghai (2010).  
 Giampaolo Imbrighi.

La obra adquiere una forma cúbica, con un trazado interno que lo atraviesa a modo de “calles”.

Utiliza paneles de hormigón translúcido para el cerramiento, que no siendo más que el elemento exterior de fachada, concede una textura completamente innovadora, permitiendo cierta transparencia interior-exterior del edificio.

En cuanto al color del elemento, adquiere una diversidad de tonos, en gran parte debido a los elementos internos de los paneles, que permiten el paso de la luz.





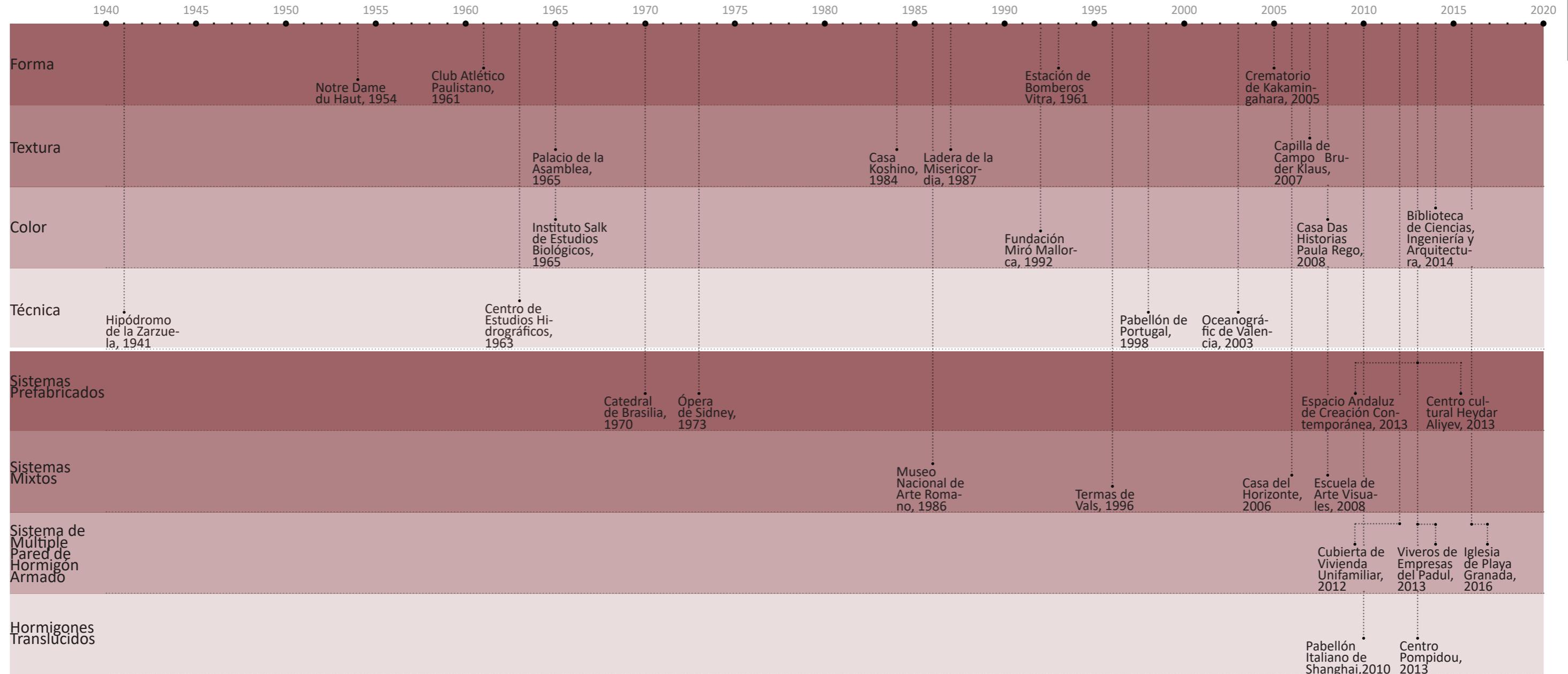
# IV Gráficos y análisis de • resultados

IV.1 Gráficos.

IV.2 Análisis de resultados.

### IV.1 Gráficos.

	Notre Dame du Haut	Club Atlético Paulistano	Estación de Bomberos Vitra	Crematorio de Kakamigahara	Palacio de la Asamblea	Casa Koshino	Ladera de la Misericordia	Capilla de Campo Bruder Klaus	Instituto Salk de Estudios Biológicos	Fundación Miró Mallorca	Biblioteca de Ciencias, Ingeniería Y Arquitectura	Casa Das Historias Paula Rego	Hipódromo de la Zarzuela	Pabellón de Portugal, Expo'98	Oceanográfico de Valencia	Centro de Estudios Hidrográficos	Catedral de Brasilia	Ópera de Sidney	Centro Cultural Heydar Aliyev	Espacio Andaluz de Creación Contemporánea	Museo Nacional de Arte Romano	Casa del Horizonte	Escuela de Arte Visuales	Termas de Vals	Cubierta de Vivienda Unifamiliar	Colegio Cerrillo Maracena	Viveros de Empresas del Padul	Iglesia de Playa Granada	Centro Pompidou	Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai
Forma	 4	 4	 5	 5	 3	 2	 3	 5	 2	 1	 2	 4	 5	 3	 5	 5	 5	 5	 5	 3	 3	 2	 2	 3	 4	 2	 3	 3	 1	 1
Textura	 3	 1	 2	 0	 3	 4	 5	 5	 3	 2	 4	 5	 0	 2	 0	 4	 0	 0	 4	 5	 0	 5	 5	 0	 0	 2	 0	 2	 4	 5
Color	 1	 1	 1	 0	 1	 2	 1	 5	 4	 3	 4	 5	 0	 1	 0	 1	 0	 0	 2	 2	 0	 4	 5	 0	 0	 1	 0	 1	 3	 3
Técnica	 2	 5	 3	 4	 3	 2	 3	 4	 2	 2	 3	 2	 5	 5	 4	 5	 3	 4	 3	 3	 3	 1	 2	 3	 3	 2	 3	 2	 1	 1
	10	11	11	09	10	10	12	19	11	08	13	16	10	11	09	15	08	09	14	13	06	12	14	06	07	07	06	08	09	10



## IV.2 Análisis de resultados

### Tabla comparativa

Las distintas arquitecturas estudiadas se han clasificado en varios aspectos en función de su característica más identificativa, pero eso no quiere decir que no atiende a las restantes, ya que una misma obra puede contemplar uno o más de estos aspectos. Para poder llegar a un análisis donde se pueda observar el uso que ha hecho cada una de estas obras del hormigón, se ha realizado una tabla comparativa cuantificando cada aspecto en todas ellas.

Hay que dejar claro que no se trata de una comparativa del valor proyectual de dichas obras, sino del uso que se ha hecho de cada uno de los aspectos de este material, dando como consecuencia que un proyecto de la envergadura de las Termas de Vals, proyecto de gran calidad y reconocimiento, pueda obtener una puntuación baja en dicha tabla.

De igual modo, se debe de considerar que un buen uso del hormigón no implica que se tenga que hacer referencia a los cuatro aspectos estudiados, pues en muchos casos se potencia de forma especial alguno de ellos sin ni siquiera aludir a los demás.

En general con esta tabla se puede hacer una diferenciación entre obras como el Hipódromo de la Zarzuela, en la cual se ha potenciado muchísimo la forma a través de la técnica, por lo que se le ha valorado en estos aspectos con el máximo nivel, sin embargo, debido a que se encuen-

tra con un acabado a base de pintura blanca eliminando cualquier aspecto que el hormigón pueda ofrecer tanto en color como en textura, se le ha anulado esta valoración. Como resultado se obtiene una puntuación total más baja que otras obras que han hecho uso, en menor o mayor medida, de todos los aspectos. Es decir, se pueden conseguir obras excelentes potenciando únicamente uno de ellos, pero, con este proceso, se trata de sacar a relucir la obra que ha hecho un uso más completo del hormigón y que, con ello, pueda servir a modo de representación de todas y cada una de las cualidades que se puede proporcionar con este material.

El criterio de cuantificación se basa en la dificultad o en el ingenio adquirido en cada uno de estos conceptos. En cuanto a las formas obtenidas presenta su dificultad tanto en el modelaje del encofrado como en la aplicación de la técnica a nivel mecánico, por lo que estos dos aspectos van siempre muy ligados provocando que en la tabla se refleje con cierta similitud de valores.

Esto mismo sucede con la textura y el color. Son dos aspectos que generalmente van unidos, debido a que para la obtención de un color que se relacione con el entorno, se le añade a la mezcla la propia tierra del lugar, dando como resultado un hormigón con un color característico además de una textura propia del sitio, tal y como ocurre en la Escuela de Arte Visuales de Oaxaca. Otro de los criterios de puntuación en estos aspectos se debe a la integración del color/textura

en el proyecto y la dificultad de su obtención.

Como conclusión de esta tabla comparativa a partir de los criterios impuestos, se llega a la conclusión de que la obra que saca el máximo partido al hormigón es la Capilla de Campo de Bruder Klaus, de Peter Zumthor. En cuanto a la forma y técnica, se traduce en una empalizada de troncos en forma de tienda india con un encofrado exterior geométrico que esconde el verdadero espacio interior. Desde el punto de vista del color y la textura, la realización de un hormigón pigmentado con la tierra del lugar consigue que el exterior tenga la misma tonalidad que en el entorno, diluyéndose así en el paisaje. Mientras que, en el interior, la ignición de la empalizada de troncos que conformaba el encofrado interior, deja una superficie totalmente irregular y calcinada que le da una identidad única a esta obra.

### Línea del tiempo

Gracias a la realización de una línea del tiempo se puede entender de una forma general la actividad que se ha producido desde mediados del siglo XX en el ámbito del hormigón como elemento de construcción. Sin embargo, esta línea no representa el 100% de la realidad debido a que, para su elaboración se ha utilizado las obras estudiadas a lo largo de todo el trabajo, siendo una mínima parte de las construidas realmente en hormigón.

Se puede ver cómo la forma y la técnica siempre

han estado presentes en la utilización del hormigón, permaneciendo constante a lo largo de todo el periodo y, estando íntimamente relacionadas entre sí, al servir la técnica como medio principal para conseguir algunas formas poco convencionales e intuitivas.

Sin embargo, la búsqueda de texturas y colores innovadores nació un poco más tarde, cuando ya se tenía un conocimiento mucho más amplio de las posibilidades que podía ofrecer el hormigón en el ámbito visual y de acabados.

En esta línea del tiempo se puede ver claramente la aparición de dos vacíos durante la década de los cuarenta y cincuenta y, la década de los setenta y ochenta. Se puede deber a que en estas épocas la utilización del hormigón llegara a un punto de monotonía donde las obras no destacaban unas de otras en la utilización del hormigón, conformándose con lo que se habían conseguido hasta el momento sin la visión de evolución propia de este material.

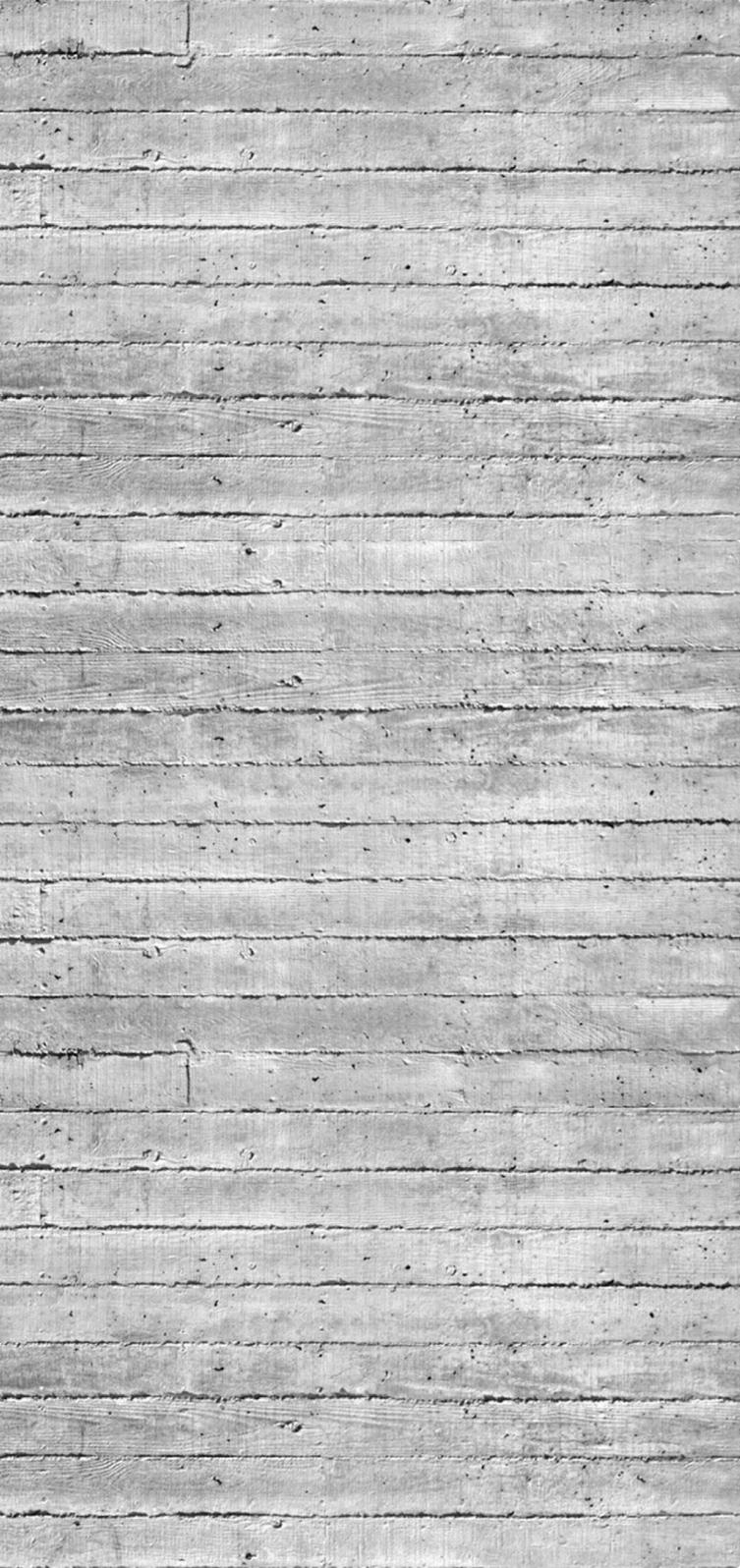
En los sistemas constructivos con hormigón se puede diferenciar dos grupos muy definidos, por un lado estaría las piezas prefabricadas de hormigón armado con una trayectoria mucho más larga y, por otro lado se encuentran los sistemas más recientes que surgen a principios del siglo XXI como son: el GRC que aunque se encuentra dentro de los prefabricados supuso una evolución en la modulación de las piezas; el sistema de múltiple pared de hormigón armado, que resuelve los problemas de aislamiento

térmico que presentaba el material; y los hormigones translúcidos dando la posibilidad de conseguir luminosidad a través de gruesas paredes de esta piedra artificial.

Los sistemas mixtos en realidad no se pueden considerar como nuevos sistemas, ya que la combinación del hormigón con otros materiales siempre ha estado presente en la historia del hormigón, como se ha visto en el Panteón de Agripa, donde se utilizó opera laterica, consistiendo en una mezcla de hormigón con piezas cerámicas. Este sistema no tiene un objetivo claro ya que en el caso del Panteón se llevó a cabo para aligerar su peso, pero no siempre ha sido así, por ejemplo, tanto en las Termas de Vals como en el Museo de Arte Romano de Mérida la utilización del hormigón con piedra o ladrillo respectivamente como encofrados, se llevó a cabo desde un punto de aprovechamiento de las características mecánicas que ofrece el hormigón antes los esfuerzos de tracción y compresión.

Como conclusión del análisis de los resultados de esta línea del tiempo se puede reafirmar lo que ya se ha expresado reiteradamente, el hormigón ha ido evolucionando a lo largo de todo su recorrido adaptándose a las distintas necesidades. Se ha podido comprobar que se trata de un material que se está utilizando cada vez más, tanto por su carácter económico como por las ventajas y las distintas posibilidades que ofrece. Desde mi punto de vista creo que esta mejora

de prestaciones ha sido el impulso del aumento de construcciones con hormigón y por ende de su fabricación con lo que ello implica, creando nosotros mismo la necesidad de que continúe esta evolución para contrarrestar la desventaja de la contaminación en su producción.



# V Influencia del hormigón

- en el cambio climático y nuevos hormigones

Se ha estudiado la capacidad y potencialidades del hormigón para dar respuesta a las demandas constructivas de cada época, sin embargo, en la actualidad debe hacer frente a una cuestión muy distinta: el cambio climático y las exigencias de sostenibilidad.

En los últimos años, el cambio climático se ha convertido en uno de los principales problemas de la sociedad a nivel global, provocado por el sobrecalentamiento que se produce en la superficie del planeta, generando unos efectos devastadores en la naturaleza. Esto se debe a que, parte de la radiación del sol que llega a la tierra y debería rebotar hacia el exterior, queda atrapada dentro de la atmósfera incidiendo de forma reiterada sobre la superficie terrestre. Esto es lo que se conoce como “efecto invernadero”.

La incidencia de radiación solar es un fenómeno natural y necesario para las condiciones de vida en el planeta, equilibrándose las emisiones absorbidas por las rebotadas. Sin embargo, este efecto se ve agravado cuando se producen radiaciones artificiales que, al unirse con las naturales que no pueden traspasar la atmósfera, genera un desequilibrio, haciendo el sobrecalentamiento mucho más severo y dando lugar a una aceleración exponencial con el paso del tiempo.

Estas radiaciones artificiales son debidas en gran medida a las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cuyo principal causante suele ser las fábricas o los procesos industriales entre

otros. En este ámbito, el mundo de la construcción juega un papel muy importante, debido al elevado consumo de energía no renovable a lo largo de la vida útil de las edificaciones. Esto ha dado lugar a la implantación de certificados y estándares de eficiencia energética que controlen el consumo de estas energías en los edificios.

De esta forma, nace el concepto de Passivhaus o Casa Pasiva, que establece una serie de requisitos que deben de cumplir las construcciones para tener un comportamiento idóneo con respecto a los consumos energéticos. Esto da lugar a una arquitectura en la que las pérdidas energéticas son casi nulas, lo que, sumado al empleo de energías renovables, convierte este modelo en la solución idónea con respecto al cambio climático.

Sin embargo, no se puede culpar a los consumos energéticos de ser el máximo responsable de la problemática actual, en la que destacan las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fabricación de los materiales, datos ajenos al concepto de Passivhaus y, a las regulaciones establecidas al respecto.

Este grupo de los grandes emisores de CO<sub>2</sub>, viene liderado por el hormigón, siendo uno de los materiales más contaminantes en su producción, responsabilizándose de aproximadamente un 5% de las emisiones mundiales.

Esto se debe a que en su fabricación se emplean

unos altos hornos que calcinan la mezcla de calizas y arcillas, para obtener el principal componente del cemento Portland, el Clinker. Hay estudios que cuantifican las cantidades de emisiones que se produce durante este proceso, estableciendo la equivalencia de una Tonelada de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera por cada Tonelada de cemento Portland generada.

Es cierto que la producción del cemento emite cantidades desmesuradas de dióxido de carbono, sin embargo, también se debe de tener en cuenta que, durante la vida del hormigón se produce una reacción química, denominada carbonatación, que contrarresta parte de estas emisiones gracias al efecto sumidero (*“Por sumidero se entiende cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero a la atmósfera”*)<sup>4</sup>, aunque se trata de un proceso muy lento, que tiene lugar después de años e incluso decenios desde su origen.

Este proceso tiene lugar cuando los componentes alcalinos del hormigón (hidróxido de calcio, sodio y potasio), absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, dando lugar a carbonatos, sulfatos y agua, los cuales atacan la armadura interior del hormigón. Es importante tener en cuenta que se trata, por tanto, del deterioro más importante del hormigón armado, constituyéndose, así como un proceso beneficioso para la atmósfera

<sup>4</sup> Artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.

debido a la absorción de CO<sub>2</sub>, pero muy perjudicial para las estructuras acortando su vida útil.

Una vez que se ha agotado la vida útil de las estructuras y, se procede a su demolición, esta carbonatación continua. Por lo que se recomienda su reutilización como grava de relleno por tener más superficies expuesta a la atmósfera y, reduciendo de esta manera las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma considerable.

Como solución a este problema, en ocasiones se han utilizado cementos del tipo CEM II y CEM III, que, pese a no estar concebidos a tal efecto, contaban con menores emisiones de CO<sub>2</sub> en su producción debido al empleo de cenizas volantes o escoria de altos hornos en sustitución de parte del Clinker. Sin embargo, se ha demostrado que estas adiciones generan un deterioro más rápido de los elementos, conllevando más reparaciones y una mayor producción de hormigón, por lo que resulta contraproducente su utilización a modo de solución.

En la siguiente tabla, se muestra una comparativa de las emisiones producidas por el cemento Portland, como de cementos con adiciones en diferentes proporciones. Además de la producción, abarca todas las fases, como, el transporte incluido en la producción, la construcción, el

uso, la demolición y, la situación tras la demolición, con el objetivo de poder analizar la verdadera emisión que se produce a la atmósfera de forma total.

*“Los resultados indican que los hormigones fabricados con cemento Portland, con adiciones de cenizas volantes silíceas (35% FA) y con escoria siderúrgicas granuladas de alto horno (80% BFS), capturan un 47, 41 y 20%, respectivamente, de las emisiones de CO<sub>2</sub>. La vida de servicio de cementos con altas cantidades de adiciones, como CEM III/A (50 % BFS), CEM III/B (80 % BFS) y, CEM II/BV (35 % FA), es aproximadamente un 10 % más corta, debido al mayor coeficiente de velocidad de carbonatación.”<sup>5</sup>*

<sup>5</sup> Universitat Politècnica de València. (4-11-2014). ¿Cuánto CO<sub>2</sub> se emite cuando empleamos hormigón?. Universitat Politècnica de València.

Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/columna)						
	CEM Portland	CEM II/B-S (35% escoria de alto horno)	CEM III/A (50% escoria de alto horno)	CEM III/B (80% escoria de alto horno)	CEM II/A-V (20% cenizas volantes)	CEM II/B-V (35% cenizas volantes)
Producción	72.67	55.69	48.42	33.87	61.72	53.52
Construcción	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Uso	-16.39	-10.65	-8.94	-3.58	-13.11	-11.63
Demolición	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
Tras demolición	-18.28	-11.89	-8.39	-3.36	-14.63	-10.91
Total (kg)	39.4	34.56	32.49	28.34	35.39	32.39

	CEM PORTLAND	CEM II/B-S (35% escoria de alto horno)	CEM III/A (50% escoria de alto horno)	CEM III/B (80% escoria de alto horno)	CEM II/A-V (20% cenizas volantes)	CEM II/B-V (35% cenizas volantes)
Vida útil (años)	100.42	100.42	90.62	90.62	100.42	90.62
Total (kg CO <sub>2</sub> /año)	0.392	0.344	0.359	0.313	0.352	0.365

Sin embargo, actualmente, existe toda una vía de investigación hacia los verdaderos hormigones sostenibles, en los que no paran de surgir nuevos tipos, que responden a unas menores emisiones sin perjudicar el comportamiento estructural, ni durabilidad, del elemento en cuestión. Entre ellos, aparecen hormigones con áridos reciclados; hormigones biológicos, que incorporan organismos vivos capaces de absorber CO<sub>2</sub>; y otra gran variedad de tipos con incorporación de diferentes adiciones, a base de elementos no contaminantes, o capaces, incluso, de disminuir su emisividad. Entre estos nuevos tipos de hormigones, cabe destacar algunos como:

- **Hormigón fotocatalítico**<sup>6</sup>

Este hormigón es uno de los principales hormigones sostenibles que se están empezando a utilizar, ya que su funcionamiento consiste en la incorporación de unas nano partículas de óxido de titanio capaces de absorber parte de la contaminación de su alrededor. Esto los hace especialmente útiles en su aplicación para zonas exteriores urbanas de altos niveles contaminantes.

- **El hormigón con masa madre**<sup>7</sup>

Se componen por unas bacterias que se alimentan de CO<sub>2</sub> y producen carbonatos cálcicos, generando de esta forma el cemento junto con arena y agua.

La incorporación de cianobacterias da lugar a un hormigón “vivo”, capaz de reproducirse y auto repararse.

Se trata de un hormigón que no emite CO<sub>2</sub>, sino que necesita absorberlo para poder producirse.

Aunque su funcionamiento se basa en la carbonatación y, por ello no es aplicable a hormigones armados, no deja de ser un gran descubrimiento y avance con grandes posibilidades de aplicación en otros campos.

Otros tipos, que aun no disminuyendo de forma directa la emisión de CO<sub>2</sub>, si lo hacen de forma indirecta a partir de la mejora de otros aspectos, como:

- **Hormigones termo crómicos**<sup>8</sup>

Consiste en cementos que cambian de color con la temperatura, adquiriendo un color oscuro con bajas temperaturas y aclarándose el color con temperaturas superiores. No se trata de un aspecto estético sino de variar la respuesta en las superficies de las fachadas frente a las radiaciones solares, consiguiendo de este modo interiores más eficientes.

Además, se le incorpora en su masa unas micro capsulas de óxido de silicato rellenas de resina epoxi que cuando el hormigón se deteriore los componentes de la atmósfera reaccionan con el óxido de silicato liberando la resina, consiguiendo de este modo hormigones autorreparables desde su interior.

- **Hormigones lumínicos**<sup>9</sup>

Estos hormigones absorben la luz tanto natural como artificial, consiguiendo que sus electrones cambien su composición liberando la energía que acumulan en forma de luz.

Generan energía luminosa sin coste de mantenimiento y de manera sostenible favoreciendo el ahorro energético, además tiene una duración de hasta 100 años debido a su composición orgánica.

Y otros muchos tipos como el hormigón de árido reciclado, hormigón a base de cáscara de arroz, o incluso uno que incorpora nano plaquetas de las zanahorias.

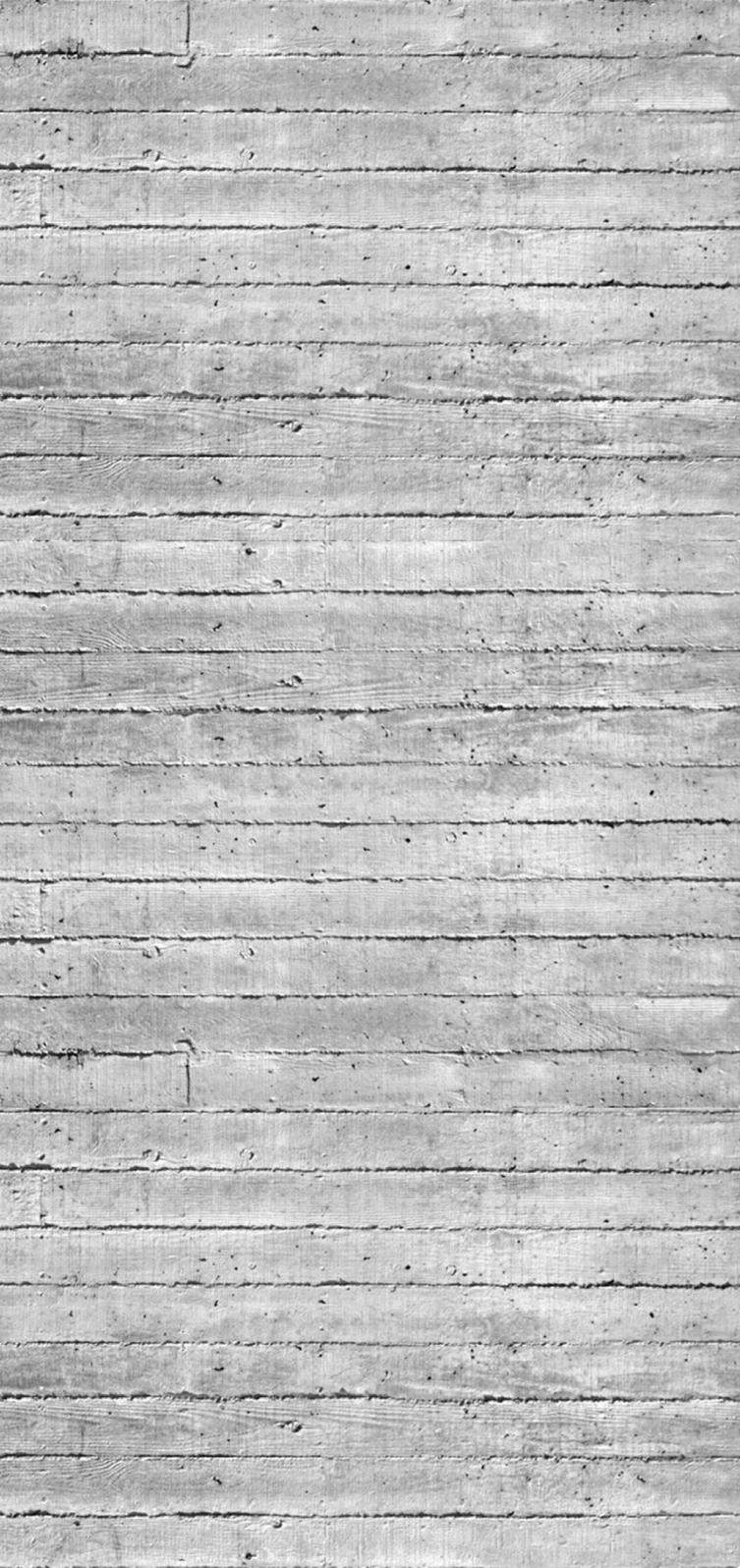
Estos nuevos hormigones son, sin duda alguna, la respuesta al problema actual, pero a pesar de la gran variedad de nuevos tipos existentes, tan solo unos pocos, se han conseguido llegar a emplear en la construcción, quedando limitados, por el momento, a pavimentaciones, elementos del viario público, etc.

6 *Structuralia (04-06-2019) Hormigones sostenibles utilizados en la construcción. Structuralia.*

7 *Fernández, M. (17-01-2020). Hormigón con cianobacterias. Innovadores. La Razón.*

8 *Sánchez, J.C. (24-03-2017). Hormigones Termocrómicos y hormigón autorreparable. MIT Technology Review.*

9 *UMACON.(28-02-2017) Materiales innovadores en la construcción. Cemento lumínico.*



# VI Conclusiones y posibles líneas de investigación

## VI. Conclusiones.

Tras el recorrido realizado por muchas de las distintas etapas del hormigón, no cabe más que reafirmar el planteamiento inicial: el hormigón se consolida, probablemente, como uno de los materiales más versátiles que se conoce por el momento.

Se ha podido apreciar cómo, cuando los primeros hormigones utilizados con un planteamiento similar a los muros de piedra, realizados principalmente en masa, empezaron a quedar obsoletos para las nuevas demandas de las sociedades del momento, apareció la inserción de armadura en su interior. Posiblemente esto originó el mayor salto conceptual para este material, liberándolo por completo y dando lugar a una nueva arquitectura totalmente innovadora y acorde a los nuevos tiempos.

Desde ese momento, ha seguido evolucionando sin pausa hasta la actualidad, a merced de las necesidades o requerimientos de la sociedad en cada época.

Cuando se precisó de una gran cubierta liviana, como sucede en el Hipódromo de la Zarzuela, apareció un nuevo modelo de funcionamiento del elemento cambiando su configuración, dando lugar a secciones variables y esquemas de cargas diferentes. Capaces de proporcionar una gran luz y derivación de esfuerzos en un número reducido de apoyos. Se abre una línea de acción nueva para el hormigón, saliendo de los modelos estándar y dando una gran libertad proyectual al mundo de la arquitectura.

Cuando de la misma manera, las nuevas corrientes precisaron de un sistema estructural capaz de materializarse en un elemento de imagen más irregular u orgánica, capaz incluso de aludir formalmente a una topografía concreta, como sucede en el Crematorio de Kakamingahara, se abre un nuevo frente que da alas a las nuevas formas en la arquitectura, permitiendo abandonar los estereotipos tradicionales y, adquiriendo el hormigón, hasta el momento considerado como simple herramienta estructural, la concepción de elemento de proyecto.

Posteriormente, el hormigón, de aspecto rudo, inapropiado para las tendencias del momento, dará paso al mundo de las texturas del hormigón, valiéndose de sus propiedades plásticas en su fase inicial para complementarse con gran variedad de encofrados, dando rienda suelta al proyectista y permitiendo la aparición de obras únicas como la Capilla Bruder Klaus.

De igual modo, llegado determinado momento, los requerimientos de mimetización con ciertos entornos, dan lugar a un cambio interno en la composición del material, incorporando gravas naturales del entorno y coloreando así las obras de los tonos del lugar como si de un elemento natural del sitio se tratara. En esta misma fase, con la implicación del color como parte del proyecto, el hormigón reaparecerá como nueva solución a dicha situación, pigmentándose para generar los acabados en los tonos deseados.

Se llega a un momento clave en lo que respecta a este trabajo, la aparición de las cuestiones de sostenibilidad que se implantarán en la nueva sociedad como un requerimiento urgente y preocupante en constante crecimiento y aún sin resolver por completo.

Los primeros aspectos que parecían truncar la existencia del hormigón fueron la necesidad de una arquitectura más eficiente, con la necesidad de incorporar aislamiento térmico en su envolvente, lo que parecía del todo incompatible con los elementos de hormigón de acabados vistos.

Sin embargo, una vez más, surge un nuevo sistema capaz de responder a estos nuevos requerimientos generando un único elemento de ejecución continua que consta de dos paredes exteriores de hormigón armado, permitiendo insertar el aislamiento en su interior.

De forma similar, aparecen los elementos prefabricados, respondiendo a las necesidades de una disminución de residuos generados y una economización de medios y tiempos, al igual que el hormigón translúcido como una de las últimas respuestas hacia un sistema más sostenible, convirtiéndose en un elemento permeable a la luz con sus correspondientes efectos de ahorro térmico y lumínico.

Vista la capacidad de adaptación del hormigón a las cambiantes necesidades de cada sociedad o etapa, cabe preguntarse si será capaz de hacer frente a la nueva situación en la que se encuentra. Si bien es cierto que la cuestión es algo drástica, pues probablemente se está tratando de convertir uno de los principales causantes de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial en un material sostenible, también es lógico, dada su trayectoria, confiar en una nueva fase para este material de la que resurgirá de forma satisfactoria, dotando, además, a la arquitectura de nuevas posibilidades.

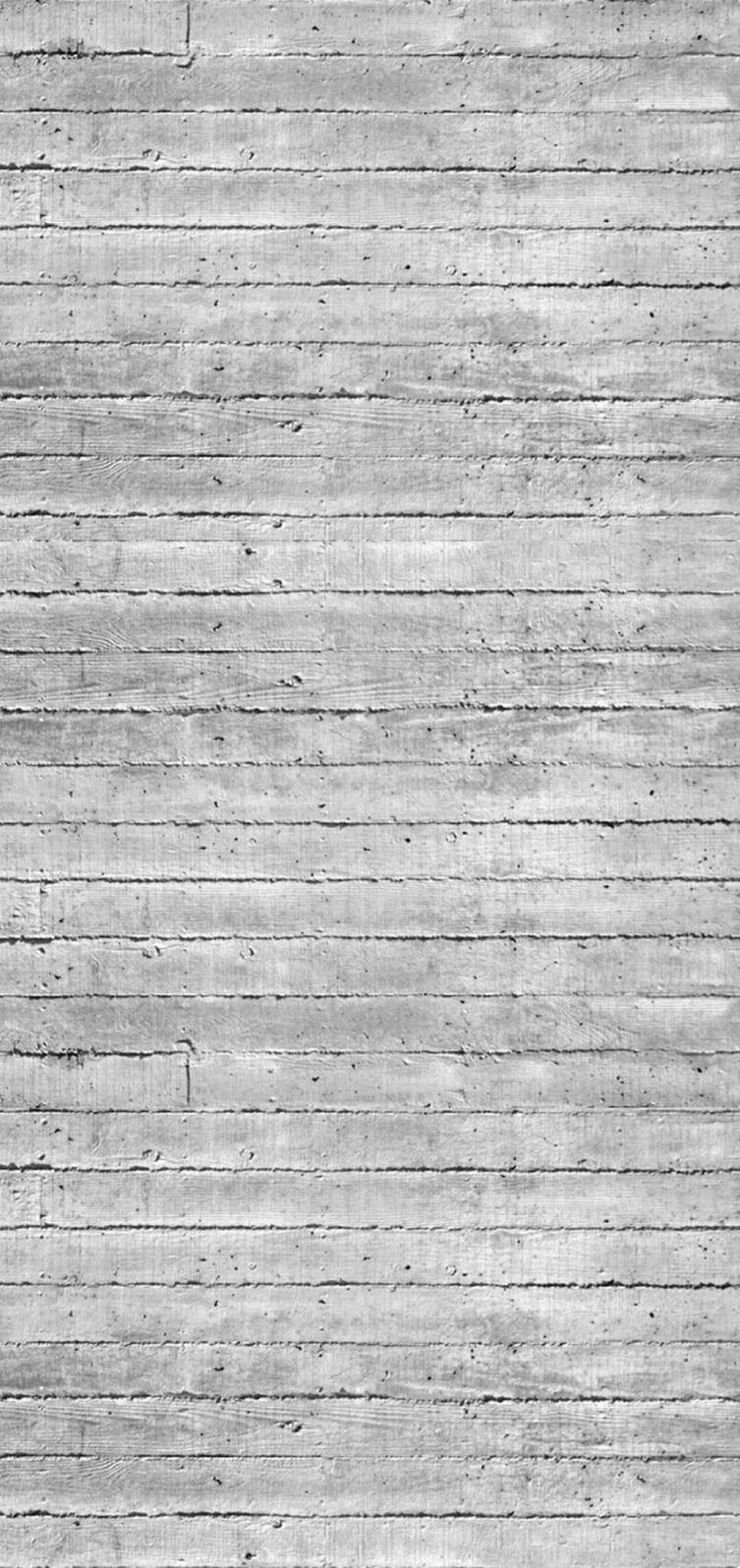
Ciertamente, desde las primeras inquietudes con respecto a los temas del cambio climático y sostenibilidad, se cuenta con la aparición de una gran variedad de nuevos hormigones que han intentado dar una solución con mayor o menor éxito, los hormigones ecológicos a los cuales ya se ha hecho mención anteriormente.

La gran mayoría se han centrado únicamente en la reducción de las emisiones a partir de la sustitución del Clinker por otros elementos reciclados, obteniéndose ya algunos resultados bastante aceptables y favorables como el hormigón de árido reciclado. Pero se encuentran algunos casos que van más allá, mostrándose como solución a otros aspectos que igualmente influyen en el carácter medioambiental y sostenible del hormigón. Esto da lugar a hormigones de diversas aplicaciones, que permitirán una arquitectura mucho más eficiente y, quién sabe si incluso,

posibilitará autogenerar parte de su energía.

Desgraciadamente, en lo que respecta al mundo de la construcción, aún no se puede concluir de forma rotunda que se haya llegado a la solución, pues, como ya se ha expresado, existen numerosos tipos que suplen parte del Clinker como elemento contaminante por otros componentes (uno de los más prometedores en este campo es el hormigón con partículas de grafeno), pero la mayoría de ellos, al igual que los citados, aún no han podido extrapolarse al mundo de las grandes obras de hormigón, bien por cuestiones económicas, resistentes o de deterioro precoz.

Por este motivo, la respuesta del hormigón ante los requisitos de baja emisividad contaminante constituye una línea de investigación de primer orden, totalmente abierta en la actualidad y de la que muy posiblemente se dé pie a una nueva etapa del hormigón como elemento sostenible, que dé respuesta a nuevas cuestiones planteadas por la sociedad e incluso a una arquitectura algo diferente a la que se conoce actualmente.



## VII. Créditos de ilustraciones y bibliografía.

VII.1 Bibliografía.

VII.2 Créditos de ilustraciones.

## VII.1 Bibliografía.

### Bibliografía.

- \_ASOCIACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL. (2006). *Utilización de áridos reciclado para la fabricación del hormigón estructural*. Madrid: ACHE.
- \_ASOCIACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL. (2010). *Manual de tecnología de aditivos para hormigón*. Madrid: ACHE.
- \_CROFT, CATHERINE. (2005). *Arquitectura en hormigón*. Barcelona : Blume.
- \_ESPAÑA. MINISTERIO DE FOMENTO, ESPAÑA COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. (2011). *EHE-08 : Instrucción de hormigón estructural*. Madrid : Ministerio de Fomento.
- \_FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M. (1993). *Hormigón. 3ª ed.* Madrid : Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.
- \_FISCHER, J. (2009). *Concrete = Hormigón = Betao*. KÖll: Ullmann.
- \_INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (MADRID). (1994). *Prefabricados de hormigón en la construcción*. Barcelona: Cemento-Hormigón.
- \_JIMENEZ MONTOYA, P., GARCÍA MESEGUER, A., MORÁN CABRÉ, F. (2002). *Hormigón armado*. Barcelona: Gustavo Gil.
- \_JIMENEZ MONTOYA, P., GARCÍA MESEGUER, A., MORÁN CABRÉ, F., ARROYO PORTERO, J.C. (2009). *Jiménez Montoya: hormigón armado*. Barcelona: Gustavo Gil.
- \_JOFRÉ IBÁÑEZ, C. (2003). *Color y textura en pavimentos y paramentos de hormigón*. Madrid : Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- \_LÓPEZ BERENGUER, R., CAYUELAS PORRAS, A., UNIVERSIDAD DE GRANADA. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA . (2017). *La Escuela Paulista : De Vilanova Artigas a Mendes da Rocha : Arquitectura y estructura : Procesos unitarios de concepción y desarrollo*. Granada : s.n..
- \_SIMONNET, CYRILLE. (2011). *Hormigón : historia de un material : economía, técnica, arquitectura*. San Sebastián : Nerea.

### Webgrafía.

- \_A-CERO; <https://blog.a-cero.com/centro-cultural-heydar-aliyev-de-zaha-hadid/>
- \_AMBIENTES DIGITAL; [https://ambientesdigital.com/biblioteca-ciencias-ingenieria-arquitectura-pucp/\\_ARQ.COM.MX](https://ambientesdigital.com/biblioteca-ciencias-ingenieria-arquitectura-pucp/_ARQ.COM.MX); <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/13963.html#.XwkGAigzZPY>
- \_ARQA; <https://arqa.com/arquitectura/meiso-no-mori-municipal-funeral-hall.html#>
- \_ARQFOTO; [https://www.arqfoto.com/centro-de-estudios-hidrograficos-miguel-fisac/\\_ARQUITECTURA BLANCA](https://www.arqfoto.com/centro-de-estudios-hidrograficos-miguel-fisac/_ARQUITECTURA BLANCA); [http://www.arquitecturablanca.com/obras/fundaci%C3%B3n-joan-y-pilar-mir%C3%B3\\_285.html](http://www.arquitecturablanca.com/obras/fundaci%C3%B3n-joan-y-pilar-mir%C3%B3_285.html)
- \_ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA; <http://www.arquitecturacontemporanea.org/plataformaplan/download/96.pdf>
- \_ARQUITECTURA ESPECTACULAR; <http://arquitecturaespectacular.blogspot.com/2010/04/catedral-de-brasilia.html>
- \_ARQUITECTURA Y EMPRESA; <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/casa-del-horizonte-jesus-aparicio-estudio-de-arquitectura>
- \_ARQUITECTURA Y EMPRESA; <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/arquitectura-con-cemento-transparente-en-el-nuevo-centro-pompidou-de-malaga>
- \_ARQUITECTURA Y EMPRESA; <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/arquitectura-con-cemento-transparente-en-el-nuevo-centro-pompidou-de-malaga>
- \_ARQUITECTURA Y DISEÑO; [https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mendes-da-rocha-90-anos-in-gravidez-brutalista\\_2045](https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/mendes-da-rocha-90-anos-in-gravidez-brutalista_2045)
- \_ARQUITERRASA; <https://arquiterrassa.wordpress.com/arquimundo/m-o/notre-dame-du-haut-ronchamp/>
- \_ARQUITOUR; <http://www.arquitour.com/escuela-de-artes-plasticas-de-oaxaca-taller-de-arquitectura-mauricio-rocha/2012/08/>
- \_BILBAO PORT; [https://www.bilbaoport.eus/wp-content/uploads/2016/12/HuellaCarbono\\_Fase-obra.pdf](https://www.bilbaoport.eus/wp-content/uploads/2016/12/HuellaCarbono_Fase-obra.pdf)
- \_CATÁLOGO DE ARQUITECTURA; <https://catalogosdearquitectura.wordpress.com/2018/05/21/mendes-da-rocha-paolo-1961-gimnasio-del-club-atletico-paulistano/>
- \_CONOCE ITALIA; <http://conoceitalia.com/c-roma/panteon-de-agripa/>
- \_CONSTRUIBLE; <https://www.construible.es/2015/05/05/la-luz-en-el-nuevo-centro-pompidou-de-malaga>
- \_CORDIS COMISIÓN EUROPEA; <https://cordis.europa.eu/article/id/218985-measuring-the-impact-of-concrete-from-cradle-to-grave/es>
- \_COSAS DE ARQUITECTOS; <https://www.cosasdearquitectos.com/2014/01/la-casa-koshino-1980-tadao-ando-la-relacion-arquitectonica-entre-los-volumenes-y-la-luz/>
- \_CRÍTICA; <https://www.revista-critica.es/2018/07/05/centre-pompidou-malaga-del-museo-a-la-ciudad/>

\_EL CONFIDENCIAL; [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-04-01/gaudi-granada-salobrena-casa-acantilado\\_1542344/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-04-01/gaudi-granada-salobrena-casa-acantilado_1542344/)

\_EL INDEPENDIENTE; <https://www.elindependiente.com/desarrollo-sostenible/2018/12/06/el-hormigon-mas-ecologico/>

\_EL PARTAL; <http://www.elpartal.es/proyectos/colegio-cerrillo-maracena/>

\_ELISA VALERO; <https://www.elisavalero.com/iglesia-en-playa-granada/>

\_Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla; <https://proyectos4etsa.wordpress.com/2018/02/19/casas-historia-paula-rego-2005-2009-eduardo-souto-de-moura/>

\_Expansión; <https://www.expansion.com/fueradeserie/arquitectura/2019/04/05/5ca2126222601da0228b45bc.html>

\_FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO UDELAR, URUGUAY; <http://www.fadu.edu.uy/viaje2015/articulos-estudiantiles/termas-de-vals/>

\_FIANDRE; <https://www.granitifiandre.es/realizaciones/exposici%C3%B3nes/pabell%C3%B3n-italiano-de-shanghai-expo-2010>

\_FLOORNATURE; <https://www.floornature.es/pabellon-italiano-en-la-expo-de-shanghai-2010-5308/>

\_GRANADA EMPRESAS; <https://www.granadaempresas.es/noticias/la-diputacion-de-granada-firma-el-convenio-para-la-puesta-en-marcha-del-cluster-energetico-de-padul/>

\_HISTORIA, ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN; <http://histarcon.blogspot.com/2014/03/panteon-de-agripa.html>

\_HISTORIAS DE ARQUITECTURA; <https://jjperezmonzon.com/2016/05/13/el-hormigon-translucido/>

\_INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN; En memoria de Miguel Fisac Miguel Fisac, a memorial; <https://www.informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

\_INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES; <https://www.ieca.es/wp-content/uploads/2017/10/ESTUDIO-CO2.pdf>

\_INTEREMPRESAS; <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/167016-Breve-introduccion-a-los-origenes-del-hormigon-armado.html>

\_INTEREMPRESAS; <https://www.interempresas.net/Jardineria/Articulos/47920-El-Paisaje-de-La-Ladeira-da-Misericordia-en-Salvador-De-Bahia.html>

\_ITINARI; <https://www.itinari.com/es/notre-dame-du-haut-the-magnificent-concrete-chapel-in-ronchamp-1nw5>

\_LA RAZÓN; <https://innovadores.larazon.es/es/consiguen-producir-la-masa-madre-del-hormigon-con-ciano-bacterias/>

\_MANOLO ESPALIU; <http://manoloespaliu.com/projects/c3a-cordoba-nieto-sobejano-arquitectos/>

\_METALOCUS; <https://www.metalocus.es/es/noticias/una-nueva-vida-para-el-instituto-salk-de-kahn-por-el-getty-conservation-institute>

\_MIT TECHNOLOGY REVIEW; [gon-autorreparable-asi-es-el-futuro-de-los-materiales-de

\\_NABALIA ENERGIA; <https://nabaliaenergia.com/hormigon-ecologico/>

\\_ORGANIZACIÓN DE ESTADOS IBEROAMERICANOS; \[https://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias\\\_760.htm\]\(https://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias\_760.htm\)

\\_PELANDINTECNO; <http://pelandintecno.blogspot.com/2014/12/el-panteon-de-agripa-y-la-cupula.html>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759170/clasicos-de-arquitectura-ladera-de-la-misericordia-lina-bo-bardi>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/764856/iglesia-de-campo-bruder-klaus-peter-zumthor>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/761585/biblioteca-de-ciencias-ingenieria-y-arquitectura-pucp-llosa-cortegana-arquitectos>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-81476/casa-das-historias-paula-rego-eduardo-souto-de-moura-12-jan-2011>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/797811/clasicos-de-arquitectura-hipodromo-de-la-zarzuela-carlos-arniches-molto-plus-martin-dominguez-plus-eduardo-torroja>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759986/clasicos-de-arquitectura-pabellon-de-portugal-expo98-alvaro-siza>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-310432/centro-heydar-aliyev-zaha-hadid-architects>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/766772/clasicos-de-arquitectura-museo-nacional-de-arte-romano-rafael-moneo>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/750038/escuela-de-artes-visuales-de-oaxaca-taller-de-arquitectura-mauricio-rocha>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765256/termas-de-vals-peter-zumthor>

\\_PLATAFORMA ARQUITECTURA; <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/788319/centre-pompidou-malaga-javier-perez-de-la-fuente-juan-antonio-marin-malave>

\\_PLAZATIO; <https://www.plazatio.com/es/noticias/el-oceanografico-de-valencia-la-ultima-obra-de-felix-candela>

\\_PREFABRICADO TEIDE; <http://www.prefabricadosteide.com/historia-del-hormigon/>

\\_PREMIOS LLEDÓ ARQUITECTURA; <https://resources.premioslledoarquitectura.com/candidaturas/elisa-valero-iglesia-en-playa-granada/>

\\_REDFUNDAMENTOS; <http://www.redfundamentos.com/blog/es/obras/detalle-249/>

\\_STRUCTURALIA; <https://blog.structuralia.com/hormigones-sostenibles-utilizados-en-la-construccion>

\\_T MAGAZINE SPAIN; <https://www.tmagazine.es/exterio/miguel-fisac/>

\\_TECTONICA; \[http://www.tectonica.es/arquitectura/hormigon/iii/crematorio\\\_kakamigahara.html\]\(http://www.tectonica.es/arquitectura/hormigon/iii/crematorio\_kakamigahara.html\)](https://www.technologyreview.es/s/6665/cemento-termocromico-y-hormi-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

\_TECTONICA; [http://www.tectonica.es/arquitectura/hormigon/iii/casa\\_horizonte.html](http://www.tectonica.es/arquitectura/hormigon/iii/casa_horizonte.html)  
 \_TECTONICA; <https://tectonica.archi/projects/iglesia-en-playa-granada/>  
 \_UMACON; <http://www.umacon.com/noticia.php/es/materiales-innovadores-para-construccion/431>  
 \_UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA; <https://wwwaie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/10/Quispe-Gamboa-Claudia-Nataly.pdf>  
 \_UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID; [http://oa.upm.es/15228/1/Tania\\_Pamies\\_Rahan.pdf](http://oa.upm.es/15228/1/Tania_Pamies_Rahan.pdf)  
 \_UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA; <https://horsost.blogs.upv.es/2014/11/08/cuanto-co2-se-emite-cuando-empleamos-hormigon/>  
 \_URBIPEDIA; [https://www.urbipedia.org/hoja/Gimnasio\\_del\\_Club\\_Atl%C3%A9tico\\_Paulistano](https://www.urbipedia.org/hoja/Gimnasio_del_Club_Atl%C3%A9tico_Paulistano)  
 \_URBIPEDIA; [https://www.urbipedia.org/hoja/Estaci%C3%B3n\\_de\\_bomberos\\_de\\_Vitra](https://www.urbipedia.org/hoja/Estaci%C3%B3n_de_bomberos_de_Vitra)  
 \_VITRA; <https://www.vitra.com/es-es/campus/architecture/architecture-fire-station>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/panteon-de-agripa/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/notre-dame-du-haut/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/gimnasio-club-atletico-paulistano/#>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/estacion-de-bomberos-vitra/#>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/chandigarh-palacio-de-la-asamblea/#>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-koshino/#>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/capilla-de-campo-bruder-klaus/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/instituto-salk-de-estudios-biologicos/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/fundacion-miro-mallorca/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/catedral-de-brasilvia/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/opera-de-sydney/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/opera-de-sydney/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/centro-cultural-heydar-aliyev/>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/centro-creacion-contemporanea-andalucia-c3a/#>  
 \_WIKIARQUITECTURA; <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/termas-de-vals/>

## VII.2 Créditos de las ilustraciones.

### I. Historia del uso del hormigón

#### I.1 Evolución del hormigón

**Fig I.1\_1:** *Burés Profesional S.A.* Ilustración de puzolana volcánica con granulometría de 14/25 mm. [Imagen].

Fuente <https://www.burespro.com/ca/product/putzolana-vermella/>

**Fig I.1\_2:** *Burés Profesional S.A.* Ilustración de puzolana volcánica con granulometría de 7/12 mm. [Imagen].

Fuente <https://www.burespro.com/ca/product/putzolana-vermella/>

**Fig I.1\_3:** *Wojnarowski. J.* Ilustración de textura de piedra Portland. [Imagen]. Fuente <https://es.dreamstime.com/jaceksphtos-latest-stock-photos>

**Fig I.1\_4:** *Decorexpro.* Ilustración de cemento Portland. [Imagen]. Fuente <https://es.decorexpro.com/suhie-stroitelnye-smesi/portlandcement/>

**Fig I.1\_5; Fig I.1\_10; Fig I.1\_11; Fig I.1\_13:** *Wikiarquitectura.* Ilustración del Panteón de Agripa. [Imagen].

Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/panteon-de-agripa/>

**Fig I.1\_6:** *Chipakova. N.* Ilustración del Panteón de Agripa. [Imagen]. Fuente <https://www.flickr.com/photos/77947615@N08/>

**Fig I.1\_7; Fig I.1\_8:** *Wikiarquitectura.* Ilustración del Panteón de Agripa. [Planimetría]. Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/panteon-de-agripa/>

**Fig I.1\_9:** *Graf. F.* Ilustración del Panteón de Agripa. [Imagen]. Fuente <https://www.dreamstime.com/grafflorian-latest-stock-photos>

**Fig I.1\_12:** *Arquitectura y cristianismo.* Ilustración del Panteón de Agripa. [Imagen]. Fuente <https://arquitecturaycristianismo.com/2017/12/04/panteon-de-roma-ii/>

#### I.2 Avances tecnológicos

**Fig I.2\_1:** *Var-Matin.* Ilustración de Barca de Lambot. [Imagen]. Fuente <https://www.varmatin.com/vie-locale/le-ciment-arme-invention-signee-joseph-lambot-135062>

**Fig I.2\_2; Fig I.2\_3; Fig I.2\_4:** *Lucas Hayes.* Ilustración de Casa Domino. [Imagen]. Fuente <https://tecnne.com/le-corbusier/dom-ino-uno-a-uno/>

**Fig I.2\_5:** *Veredes.* Ilustración de Casa Domino. [Imagen]. Fuente <https://veredes.es/blog/maison-citrohan/>

**Fig I.2\_6; Fig I.2\_7; Fig I.2\_8:** *Wikiarquitectura.* Ilustración de Palacete del deporte. [Imagen]. Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/palacete-del-deporte/#>

**Fig I.2\_9; Fig I.2\_10:** *Wikiarquitectura.* Ilustración de Palacete del deporte. [Planimetría]. Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/palacete-del-deporte/#>

### II. Potencialidades arquitectónicas en la obra en hormigón

#### II.1 Forma

**Fig II.1\_1:** *Elaboración propia.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Imagen]. Fuente [http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project\\_Descript/2005-/2005-p\\_07/2005-p\\_07\\_en.html](http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project_Descript/2005-/2005-p_07/2005-p_07_en.html)

**Fig II.1\_2:** *infobae.* Ilustración Capilla Notre Dame du Haut. [Imagen]. Fuente <https://ar.pinterest.com/pin/700872760737466190/>

**Fig II.1\_3:** *Relae Design.* Ilustración del Cul Atlético Paulistano. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-291320/clasicos-de-arquitectura-gimnasio-del-club-atletico-paulistano-paulo-mendes-da-rocha-e-joao-de-gennaro>

**Fig II.1\_4:** *Vitra International AG.* Ilustración de Estación de Bomberos Vitra. [Imagen]. Fuente <https://www.vitra.com/es-es/campus/architecture/architecture-fire-station>

**Fig II.1\_5; Fig II.1\_7:** *Toyo Ito & Associates, Architects.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Imagen].

Fuente [http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project\\_Descript/2005-/2005-p\\_07/2005-p\\_07\\_en.html](http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project_Descript/2005-/2005-p_07/2005-p_07_en.html)

**Fig II.1\_6:** *Arfogram.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Imagen]. Fuente <https://www.flickrriver.com/photos/arfogram/240523906/>

**Fig II.1\_8:** *Tom Wilkinson.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Planimetría]. Fuente [http://es.architectsense.com/\\_2210/buildings/meiso-no-mori-in-kakamigahara-by-toyo-ito-and-associates/10014782.article](http://es.architectsense.com/_2210/buildings/meiso-no-mori-in-kakamigahara-by-toyo-ito-and-associates/10014782.article)

**Fig II.1\_9:** *González Longoria. M.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Planimetría]. Fuente <https://worksdifferent.com/2013/09/10/toyo-ito/tanatorio-meiso-no-mori-toyo-ito-5/>

**Fig II.1\_10; Fig II.1\_12; Fig II.1\_13; Fig II.1\_15:** *Forest of Meditation.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Imagen]. Fuente <https://14jsc.wordpress.com/2011/09/29/forest-of-meditation/>

**Fig II.1\_11:** *Paul Keskeys.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Imagen]. Fuente <https://architizer.com/blog/inspiration/stories/architectural-details-toyo-ito/>

**Fig II.1\_14:** *Dami Olufowoshe.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Planimetría]. Fuente <https://damio-lufowoshe.com/Creative-Forest>

**Fig II.1\_16:** *Elaboración propia.* Ilustración Capilla Notre Dame du Haut. [Imagen]. Fuente <https://ar.pinterest.com/pin/700872760737466190/>

**Fig II.1\_17:** *Elaboración propia.* Ilustración del Cul Atlético Paulistano. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-291320/clasicos-de-arquitectura-gimnasio-del-club-atletico-paulistano-paulo-mendes-da-rocha-e-joao-de-gennaro>

**Fig II.1\_18:** *Elaboración propia.* Ilustración de Estación de Bomberos Vitra. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.vitra.com/es-es/campus/architecture/architecture-fire-station>

**Fig II.1\_19:** *Elaboración propia.* Ilustración de Crematorio de Kakaminghara. [Imagen]. A partir de fuente [http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project\\_Descript/2005-/2005-p\\_07/2005-p\\_07\\_en.html](http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project_Descript/2005-/2005-p_07/2005-p_07_en.html)

## II.2 Textura

- Fig II.2\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración de Capilla de Campo Bruder klaus. [Imagen]. A partir de fuente <https://steemkr.com/architecture/@setsunai/peter-zumthor-s-bruder-klaus-field-chapel>
- Fig II.2\_2:** *Fernanda Tom*. Ilustración de Palacio de la Asamblea. [Imagen]. Fuente <https://fernandatom.wixsite.com/fotografia/-ndia-moderna>
- Fig II.2\_3:** *Kazuroni Fujimoto*. Ilustración de Palacio de la Asamblea. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769765/clasicos-de-arquitectura-casa-koshino-tadao-ando>
- Fig II.2\_4:** *Architecture Paste Book*. Ilustración de Palacio de la Ladera de la Misericordia. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759170/clasicos-de-arquitectura-ladera-de-la-misericordia-lina-bo-bardi>
- Fig II.2\_5; Fig II.2\_6; Fig II.2\_12; Fig II.2\_13; Fig II.2\_19:** *Wikiarquitectura*. Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Imagen]. Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/capilla-de-campo-bruder-klaus/>
- Fig II.2\_7:** *MW*. Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Imagen]. Fuente <https://catalogo.artium.eus/dossieres/exposiciones/premios-pritzker-viaje-por-la-arquitectura-contemporanea/bruder-klaus-kapelle>
- Fig II.2\_8, Fig II.2\_9:** *Nico Saieh*. Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Planimetría]. Fuente <https://www.archdaily.com/85656/multiplicity-and-memory-talking-about-architecture-with-peter-zumthor/>
- Fig II.2\_11:** *Cañizares Torquemada. R.* Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Imagen]. Fuente <http://artearquitecturaydiseno.blogspot.com/2012/03/haus-zumthor-haldenstein-2005.html>
- Fig II.2\_14; Fig II.2\_15; Fig II.2\_16:** *Pietro Savorelli & Walter Mair*. Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Imagen]. Fuente <https://veredes.es/blog/construccion-espacial-inigo-garcia-odiaga/>
- Fig II.2\_17:** *Luise Menzel. M.* Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Planimetría]. Fuente <https://www.pinterest.it/pin/387450374189685550/>
- Fig II.2\_18:** *Desconocido*. Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Imagen]. Fuente <https://www.pinterest.ch/pin/557461260115649761/>
- Fig II.2\_20:** *Elaboración propia*. Ilustración de Palacio de la Asamblea. [Imagen]. A partir de fuente <https://fernandatom.wixsite.com/fotografia/-ndia-moderna>
- Fig II.2\_21:** *Elaboración propia*. Ilustración de Palacio de la Asamblea. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769765/clasicos-de-arquitectura-casa-koshino-tadao-ando>
- Fig II.2\_22:** *Elaboración propia*. Ilustración de Palacio de la Ladera de la Misericordia. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759170/clasicos-de-arquitectura-ladera-de-la-misericordia-lina-bo-bardi>
- Fig II.2\_23:** *Elaboración propia*. Ilustración Capilla de Campo Bruder Klaus. [Imagen]. A partir de fuente <https://catalogo.artium.eus/dossieres/exposiciones/premios-pritzker-viaje-por-la-arquitectura-contemporanea/bruder-klaus-kapelle>

## II.3 Color

- Fig II.3\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.visitcascais.com/es/resource/casa-das-historias-paula-rego>
- Fig II.3\_2:** *Liao Yusheng*. Ilustración Instituto Salk de Estudios Biológicos. [Imagen]. Fuente <http://liaoyusheng.com/>

com/

- Fig II.3\_3:** *Michael Moran*. Ilustración Fundación Joan y Pilar Miró. [Imagen]. Fuente [http://www.arquitecturablanca.com/obras/fundaci%C3%B3n-joan-y-pilar-mir%C3%B3\\_285.html](http://www.arquitecturablanca.com/obras/fundaci%C3%B3n-joan-y-pilar-mir%C3%B3_285.html)
- Fig II.3\_4:** *Solano Ojazi. J.* Ilustración Biblioteca de Ciencias, Ingeniería y Arquitectura. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/761585/biblioteca-de-ciencias-ingenieria-y-arquitectura-pucp-llosa-cortegana-arquitectos>
- Fig II.3\_5; Fig II.3\_6; Fig II.3\_7:** *Vítor Gabriel*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-81476/casa-das-historias-paula-rego-eduardo-souto-de-moura-12-jan-2011>
- Fig II.3\_8:** *Cascais*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Planimetría]. Fuente <https://finn-wilkie.tumblr.com/search/cascais>
- Fig II.3\_9; Fig II.3\_14; Fig II.3\_15; Fig II.3\_16:** *Vítor Gabriel*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Planimetría]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-81476/casa-das-historias-paula-rego-eduardo-souto-de-moura-12-jan-2011>
- Fig II.3\_10:** *Quintin Lake*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Imagen]. Fuente <https://blog.quintinlake.com/tag/museum/>
- Fig II.3\_11:** *Ferreira Alves. L.* Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Imagen]. Fuente <https://www.floornature.es/souto-de-moura-museo-paula-rego-6787/>
- Fig II.3\_12:** *GoFord*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Imagen]. Fuente <https://www.pinterest.pt/pin/767934173938997563/>
- Fig II.3\_13:** *Dlindayastudio*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Planimetría]. Fuente <https://dlindayastudio.wordpress.com/2013/03/31/precedent-casa-das-historias-paula-rego-eduardo-souto-de-moura/>
- Fig II.3\_17:** *Elaboración propia*. Ilustración Instituto Salk de Estudios Biológicos. [Imagen]. A partir de fuente <http://liaoyusheng.com/>
- Fig II.3\_18:** *Elaboración propia*. Ilustración Fundación Joan y Pilar Miró. [Imagen]. A partir de fuente [http://www.arquitecturablanca.com/obras/fundaci%C3%B3n-joan-y-pilar-mir%C3%B3\\_285.html](http://www.arquitecturablanca.com/obras/fundaci%C3%B3n-joan-y-pilar-mir%C3%B3_285.html)
- Fig II.3\_19:** *Elaboración propia*. Ilustración Biblioteca de Ciencias, Ingeniería y Arquitectura. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/761585/biblioteca-de-ciencias-ingenieria-y-arquitectura-pucp-llosa-cortegana-arquitectos>
- Fig II.3\_20:** *Elaboración propia*. Ilustración Casa Das Historia Paula Rego. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-81476/casa-das-historias-paula-rego-eduardo-souto-de-moura-12-jan-2011>

## II.4 Técnica

- Fig II.4\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración Centro de Estudios Hidrográficos. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.arqfoto.com/centro-de-estudios-hidrograficos-miguel-fisac/>
- Fig II.4\_2:** *Ana Amado*. Ilustración Hipódromo de la Zarzuela. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/797811/clasicos-de-arquitectura-hipodromo-de-la-zarzuela-carlos-arniches-molto-plus-martin-dominguez-plus-eduardo-torroja>
- Fig II.4\_3:** *Clement Guillaume*. Ilustración Pabellón de Portugal. [Imagen]. Fuente <http://new.clementguillaume.com/>

publications/

**Fig II.4\_4:** *Wikiarquitectura*. Ilustración Oceanogràfic de Valencia. [Imagen]. Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias/>

**Fig II.4\_5:** rtve. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Imagen]. Fuente <https://www.rtve.es/television/20191118/arquitectura-contemporanea-fisac-bofill/1986900.shtml>

**Fig II.4\_6; Fig II.4\_10:** *Simón García*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Imagen]. Fuente <https://www.arqfoto.com/centro-de-estudios-hidrograficos-miguel-fisac/>

**Fig II.4\_7:** *Menendez Huerta. P*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Imagen]. Fuente <https://search.es/obra/centro-de-estudios-hidrograficos>

**Fig II.4\_8; Fig II.4\_9:** *Simón García*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Planimetría]. Fuente <https://www.arqfoto.com/centro-de-estudios-hidrograficos-miguel-fisac/>

**Fig II.4\_11:** *Coolboom*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Imagen]. Fuente <https://www.pinterest.co.uk/pin/416653403004750075/>

**Fig II.4\_12:** *ARQ. clarin*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Imagen]. Fuente <http://arxiubak.blogspot.com/2013/12/escalera-en-el-centro-de-estudios.html>

**Fig II.4\_13:** *Snake Ranch*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Planimetría]. Fuente <https://www.pinterest.es/pin/54043264254665084/>

**Fig II.4\_14:** *Elaboración propia*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Planimetría]. A partir de fuente [https://twitter.com/andece\\_general/status/1085578027097120768](https://twitter.com/andece_general/status/1085578027097120768)

**Fig II.4\_15:** *Elaboración propia*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Planimetría]. A partir de fuente [https://twitter.com/andece\\_general/status/1085578027097120768](https://twitter.com/andece_general/status/1085578027097120768)

**Fig II.4\_16:** *Elaboración propia*. Ilustración Hipódromo de la Zarzuela. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/797811/clasicos-de-arquitectura-hipodromo-de-la-zarzuela-carlos-arniches-molto-plus-martin-dominiguez-plus-eduardo-torroja>

**Fig II.4\_17:** *Elaboración propia*. Ilustración Pabellón de Portugal. [Imagen]. A partir de fuente <http://new.clement-guillaume.com/publications/>

**Fig II.4\_18:** *Elaboración propia*. Ilustración Oceanogràfic de Valencia. [Imagen]. A partir de fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias/>

**Fig II.4\_19:** *Elaboración propia*. Ilustración Centro de Estudio Hidrográficos. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.rtve.es/television/20191118/arquitectura-contemporanea-fisac-bofill/1986900.shtml>

### III. Reflexiones sobre nuevos sistemas con hormigón

#### III.1 Sistemas prefabricados. GRC y otros.

**Fig III.1\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Imagen]. A partir de fuente <http://www.fernandoalda.com/es/arquitectos/92/nieto-fuensanta>

**Fig III.1\_2:** *Turismoemfoco*. Ilustración Catedral de Brasilia. [Imagen]. Fuente <https://www.pinterest.com.mx/pin/495325659001177908/>

[pin/495325659001177908/](https://www.pinterest.com.mx/pin/495325659001177908/)

**Fig III.1\_3:** *Jozef Vissel*. Ilustración Ópera de Sidney. [Imagen]. Fuente <https://www.portrait.gov.au/people/jozef-vissel-1935>

**Fig II.1\_4:** *Hufton and Crow*. Ilustración Centro Cultural Heydar Aliyev. [Imagen]. Fuente <https://www.huftonandcrow.com/>

**Fig III.1\_5; Fig III.1\_7; Fig III.1\_11; Fig III.1\_12:** *Fernando Alda*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Imagen]. Fuente <http://www.fernandoalda.com/es/arquitectos/92/nieto-fuensanta>

**Fig III.1\_6; Fig III.1\_10:** *Manolo Espaliú*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Imagen]. Fuente <http://manoloespaliu.com/projects/c3a-cordoba-nieto-sobejano-arquitectos/>

**Fig III.1\_8:** *Elaboración propia*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Planimetría].

**Fig III.1\_9:** *Elaboración propia*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Planimetría].

**Fig III.1\_13:** *Le Moniteur*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Planimetría]. Fuente <https://www.lemoniteur.fr/article/nieto-sobejano-arquitectos-centre-d-art-contemporain-cordoue-espagne.1452174>

**Fig III.1\_14:** *Elaboración propia*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Planimetría]

**Fig III.1\_15:** *Elaboración propia*. Ilustración Catedral de Brasilia. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.pinterest.com.mx/pin/495325659001177908/>

**Fig III.1\_16:** *Elaboración propia*. Ilustración Ópera de Sidney. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.portrait.gov.au/people/jozef-vissel-1935>

**Fig III.1\_17:** *Elaboración propia*. Ilustración Centro Cultural Heydar Aliyev. [Imagen]. Fuente <https://www.huftonandcrow.com/>

**Fig III.1\_18:** *Elaboración propia*. Ilustración Espacio Andaluz de Creación Contemporánea. [Imagen]. A partir de fuente <http://manoloespaliu.com/projects/c3a-cordoba-nieto-sobejano-arquitectos/>

#### III.2 Sistemas mixtos

**Fig III.2\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración Termas de Vals. [Imagen]. A partir de fuente <https://anicolepg.wixsite.com/peter-zumthor/obras>

**Fig III.2\_2:** *SimbsUllaDK*. Ilustración Museo Nacional de Arte Romano. [Imagen]. Fuente <https://www.flickr.com/search/?text=museo%20nacional%20de%20arte%20romano%20de%20merida>

**Fig III.2\_3:** *Roland Halbe*. Ilustración Casa del Horizonte. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-203278/casa-del-horizonte-jesus-aporicio-estudio-de-arquitectura>

**Fig III.2-4:** *Rafael Carrillo*. Ilustración Escuelas de Artes Visuales. [Imagen]. Fuente [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/photographer/rafael-carrillo?ad\\_name=project-specs&ad\\_medium=single](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/photographer/rafael-carrillo?ad_name=project-specs&ad_medium=single)

**Fig III.2\_5:** *Felipe Camus*. Ilustración Termas de Vals. [Imagen]. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765256/termas-de-vals-peter-zumthor>

**Fig III.2\_6; Fig III.2\_8; Fig III.2\_9; Fig III.2\_10; Fig III.2\_11:** *Wikiarquitectura*. Ilustración Termas de Vals. [Imagen]. Fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/termas-de-vals/>

**Fig III.2\_7; Fig III.2\_12:** *Ignacio Peinado*. Ilustración Termas de Vals. [Imagen]. Fuente <https://www.metalocus.es/es/noticias/un-lugar-donde-dejar-el-tiempo-en-suspension-las-termas-de-vals-por-peter-zumthor>

**Fig III.2\_13:** *Elaboración propia*. Ilustración Termas de Vals. [Planimetría].

**Fig III.2\_14:** *Elaboración propia*. Ilustración Termas de Vals. [Planimetría].

**Fig III.2\_15:** *Elaboración propia*. Ilustración Museo Nacional de Arte Romano. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.flickr.com/search/?text=museo%20nacional%20de%20arte%20romano%20de%20merida>

**Fig III.2\_16:** *Elaboración propia*. Ilustración Casa del Horizonte. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-203278/casa-del-horizonte-jesus-aparicio-estudio-de-arquitectura>

**Fig III.2\_17:** *Elaboración propia*. Ilustración Escuelas de Artes Visuales. [Imagen]. A partir de fuente [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/photographer/rafael-carrillo?ad\\_name=project-specs&ad\\_medium=single](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/photographer/rafael-carrillo?ad_name=project-specs&ad_medium=single)

**Fig III.2\_18:** *Elaboración propia*. Ilustración Termas de Vals. [Imagen]. A partir de fuente <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/termas-de-vals/>

### III.3 Sistemas de múltiple pared de hormigón armado

**Fig III.3\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración Iglesia en Playa Granada. [Imagen]. A partir de fuente <https://recursos.premioslledoarquitectura.com/candidaturas/elisa-valero-iglesia-en-playa-granada/>

**Fig III.3\_2:** *Agudelo Zapata, J. A.* Ilustración Cubierta de Vivienda Unifamiliar. [Imagen]. Fuente <https://estructurando.net/2018/02/20/elesdopa-nuevo-sistema-estructural-te-sorprendera/>

**Fig III.3\_3:** *El Partal*. Ilustración Colegio Cerrillo Maracena. [Imagen]. Fuente [http://www.elpartal.es/proyectos/colegio-cerrillo-maracena/#iLightbox\[image\\_carousel\\_1\]/29](http://www.elpartal.es/proyectos/colegio-cerrillo-maracena/#iLightbox[image_carousel_1]/29)

**Fig III.3\_4:** *Desconocido*. Ilustración Viveros de empresas. [Imagen]. Fuente Elesdopa, Elemento estructural de doble pared de hormigón armado proyectado.

**Fig III.3\_5; Fig III.3\_6; Fig III.3\_7; Fig III.3\_10; Fig III.3\_11; Fig III.3\_12:** *Elisa Valero*. Ilustración Iglesia de Playa Granada. [Imagen]. Fuente <https://www.elisavalero.com/iglesia-en-playa-granada/>

**Fig III.3\_8; Fig III.3\_9:** *Fernando Alda*. Ilustración Iglesia de Playa Granada. [Planimetría]. Fuente <https://tectonica.archi/projects/iglesia-en-playa-granada/>

**Fig III.3\_13:** *Elaboración propia*. Ilustración Iglesia de Playa Granada. [Planimetría].

**Fig III.3\_14:** *Elaboración propia*. Ilustración Cubierta de Vivienda Unifamiliar. [Imagen]. A partir de fuente <https://estructurando.net/2018/02/20/elesdopa-nuevo-sistema-estructural-te-sorprendera/>

**Fig III.3\_15:** *Elaboración propia*. Ilustración Colegio Cerrillo Maracena. [Imagen]. A partir de fuente [http://www.elpartal.es/proyectos/colegio-cerrillo-maracena/#iLightbox\[image\\_carousel\\_1\]/29](http://www.elpartal.es/proyectos/colegio-cerrillo-maracena/#iLightbox[image_carousel_1]/29)

**Fig III.3\_16:** *Elaboración propia*. Ilustración Viveros de empresas. [Imagen]. A partir de fuente Elesdopa, Elemento estructural de doble pared de hormigón armado proyectado.

**Fig III.3\_17:** *Elaboración propia*. Ilustración Iglesia de Playa Granada. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.elisavalero.com/iglesia-en-playa-granada/>

### III.4 Hormigón translúcido

**Fig III.4\_1:** *Elaboración propia*. Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Imagen]. A partir de fuente <https://www.alamy.es/imagenes/italy-pavilion-expo.html>

**Fig III.4\_2:** *Juan A. Villares*. Ilustración Centre Pompidou de Málaga. [Imagen]. Fuente <https://www.arquitectura-yempresa.es/noticia/ilight-arquitectura-transparente-con-paneles-de-cemento>

**Fig III.4\_3:** *Monroy Bobadilla, A.* Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Imagen]. Fuente <https://cmicac.com/2018/11/06/hormigon-translucido/>

**Fig III.4\_4; Fig III.4\_5; Fig III.4\_9:** *Fiandre*. Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Imagen]. Fuente <https://www.granitifiandre.es/realizaciones/exposici%C3%B3nes/pabell%C3%B3n-italiano-de-shanghai-expo-2010>

**Fig III.4\_6; Fig III.4\_7:** *Elaboración propia*. Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Planimetría].

**Fig III.4\_8:** *HeidelbergCement*. Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Imagen]. Fuente <https://www.granitifiandre.es/realizaciones/exposici%C3%B3nes/pabell%C3%B3n-italiano-de-shanghai-expo-2010>

**Fig III.4\_10:** *i.nova*. Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Imagen]. Fuente [https://es.i-nova.net/ro/home/-/journal\\_content/56/27182/2712999](https://es.i-nova.net/ro/home/-/journal_content/56/27182/2712999)

**Fig III.4\_11:** *Elaboración propia*. Ilustración Pabellón Italiano de la Expo de Shanghai. [Planimetría].



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Escuela Técnica Superior de  
Arquitectura de Granada