



Análisis de la durabilidad del Hormigón Visto. Ejemplos del Movimiento Moderno

Trabajo Fin de Grado, Grupo N
Bermudo González, Josua
Tutor: Rivera Gomez, Carlos Alberto

ETSA Sevilla
Grado en Fundamentos de Arquitectura
Curso 2019-20



Agradecimientos

Son muchas las personas que han contribuido de alguna forma en todo mi proceso de aprendizaje dentro de la Escuela. Por eso quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas:

En primer lugar a todo el equipo docente que me ha transmitido los conocimientos, la pasión y la sensibilidad necesaria para desarrollar esta profesión, pero de manera muy especial agradecerle a mi tutor de TFG, Carlos A. Rivera Gómez, su colaboración y su disponibilidad siempre que se precisaba, estando disponible a través de cualquier medio y sin horarios.

En segundo lugar quisiera agradecerle a mis amigos la comprensión, el ánimo, la lealtad y sinceridad durante mi paso por la Escuela. Igualmente, darle las gracias a todos esos compañeros de estudios que me han acompañado y se han convertido en grandes amistades durante estos años.

Y por supuesto, y para mí más importante, gracias a mi familia. Gracias a mis padres por darme la oportunidad y brindarme el apoyo necesario en los momentos más difíciles, apostando siempre por mí y ayudando en todo lo necesario. Gracias, por todo el esfuerzo y trabajo que me habéis dedicado para que nunca me falte nada. Del mismo modo gracias a mi hermano que siempre ha sabido guiarme desde la voz de la experiencia como estudiante universitario.

Resumen

El presente estudio trata de evaluar las capacidades que poseen las técnicas no destructivas para reconocer y detectar defectos o anomalías en elementos de hormigón.

En la actualidad el uso extensivo del hormigón como material de construcción favorece la utilización de técnicas no destructivas para evaluar y reconocer el estado de los elementos de forma que no afecte al mismo, esto facilita su mantenimiento y proporciona un plan de seguimiento mucho más exhaustivo y concreto, especialmente cuando estos elementos quedan expuestos a las acciones del entorno, complicando así el uso de técnicas destructivas para su correcto monitoreo. En este aspecto las técnicas utilizadas pueden ser muy variadas, pero este estudio se centrará en las más empleadas; pachometría, esclerometría, ultrasonidos y termografía. Este último se añade como experimentación, ya que esta técnica es utilizada comúnmente en construcción para detectar orígenes de humedades y problemas de ventilación y puentes térmicos, pero se utiliza en pocas ocasiones para detectar la durabilidad del hormigón. Es por ello que en los últimos años se ha generado cierto interés por conocer más a fondo esta técnica.

Previamente al estudio se ha realizado una recopilación de información sobre las diferentes técnicas que se utilizan para determinar la durabilidad de elementos de hormigón, donde se ha recopilado información sobre las técnicas descritas anteriormente. Con el fin de conocer la durabilidad de los elementos se han realizado una serie de probetas que tienen como fin el sometimiento a procesos de deterioro artificial para posteriormente poner a prueba las técnicas de estudio y profundizar en algunas de ellas, como la termografía, para poner a prueba sus capacidades.

Igualmente el estudio contiene una serie de fichas que nos muestran como el hormigón se hace presente en algunos edificios con cierta importancia, los cuales necesariamente necesitan cierto mantenimiento que tiene que venir dado por un monitoreo previo a través de las técnicas ya mencionadas

Palabras claves

Hormigón, termografía, esclerometría, pachometría, ultrasonidos, técnicas no destructivas, durabilidad del hormigón, resistividad eléctrica.

Índice

Agradecimientos

Resumen

Palabras claves

1. Introducción

- 1.1. Justificación del estudio
- 1.2. Alcance

2. Objetivos

- 2.1. Objetivo general
- 2.2. Objetivos específicos

3. Estado de la cuestión

- 3.1. Un escenario de rehabilitación frente a nueva construcción.
- 3.2. El hormigón como material estructural más frecuente
- 3.3. Principales lesiones en elementos de hormigón y su diagnóstico

4. Revisión de la literatura

- 4.1. Introducción
- 4.2. Criterios de búsqueda
- 4.3. Tabla de literatura revisada
- 4.4. La complejidad de evaluación del estado de estructuras de hormigón
- 4.5. Técnicas destructivas
- 4.6. Técnicas no destructivas
 - 4.6.1. Termografía

- 4.6.2. Ultrasonidos
- 4.6.3. Esclerómetro
- 4.6.4. Resistividad eléctrica
- 4.6.5. Pachómetro

4.7. Conclusiones

5. Metodología

- 5.1. Diseño del experimento
- 5.2. Fabricación de probetas
- 5.3. Realización de ensayos
- 5.4. Obtención de resultados y discusión
- 5.5. Conclusiones
- 5.6. Cronograma

6. Ejemplos del Movimiento Moderno

- 6.1. Criterios de elección
- 6.2. Unidad Habitacional de Marsella, Francia - Le Corbusier
- 6.3. Parlamento de Chandigarh, India - Le Corbusier
- 6.4. Palacio de deportes de Roma, Italia - Pier Luigi Nervi
- 6.5. Museo Guggenheim de Nueva York, Estados Unidos - Frank Lloyd Wright
- 6.6. Terminal de la TWA, Aeropuerto John F. Kennedy, Nueva York, Estados Unidos - Eero Saarinen
- 6.7. Instituto Salk de Estudios Biológicos, California, Estados Unidos - Louis I. Kahn
- 6.8. Catedral de Brasilia, Brasilia, Brasil - Oscar Niemeyer
- 6.9. Catedral de Santa María, Tokio, Japón - Kenzo Tange
- 6.10. Torres blancas, Madrid, España - Francisco Javier Sáenz de Oiza
- 6.11. Piscina des Marés, Matosinhos, Oporto, Portugal - Álvaro Siza

- 6.12. Pabellón de Portugal Expo '98, Lisboa, Portugal - Álvaro Siza
- 6.13. Conclusiones

7. Análisis de un caso de estudio

- 7.1. Introducción
- 7.2. Definición del espécimen a analizar
- 7.3. Campañas
 - 7.3.1. Detección visual
 - 7.3.2. Resistividad eléctrica
 - 7.3.3. Ultrasonidos
 - 7.3.4. Esclerómetro
- 7.4. Cartografía
 - 7.4.1. Cartografía detección visual
 - 7.4.2. Cartografía Resistividad eléctrica
 - 7.4.3. Cartografía Ultrasonidos
 - 7.4.4. Cartografía Esclerómetro
- 7.5. Relaciones sincrónicas entre métodos y conclusiones.

8. Conclusiones

- 9.1. Conclusiones generales
- 9.2. Conclusiones específicas
- 9.3. Futuras líneas de investigación

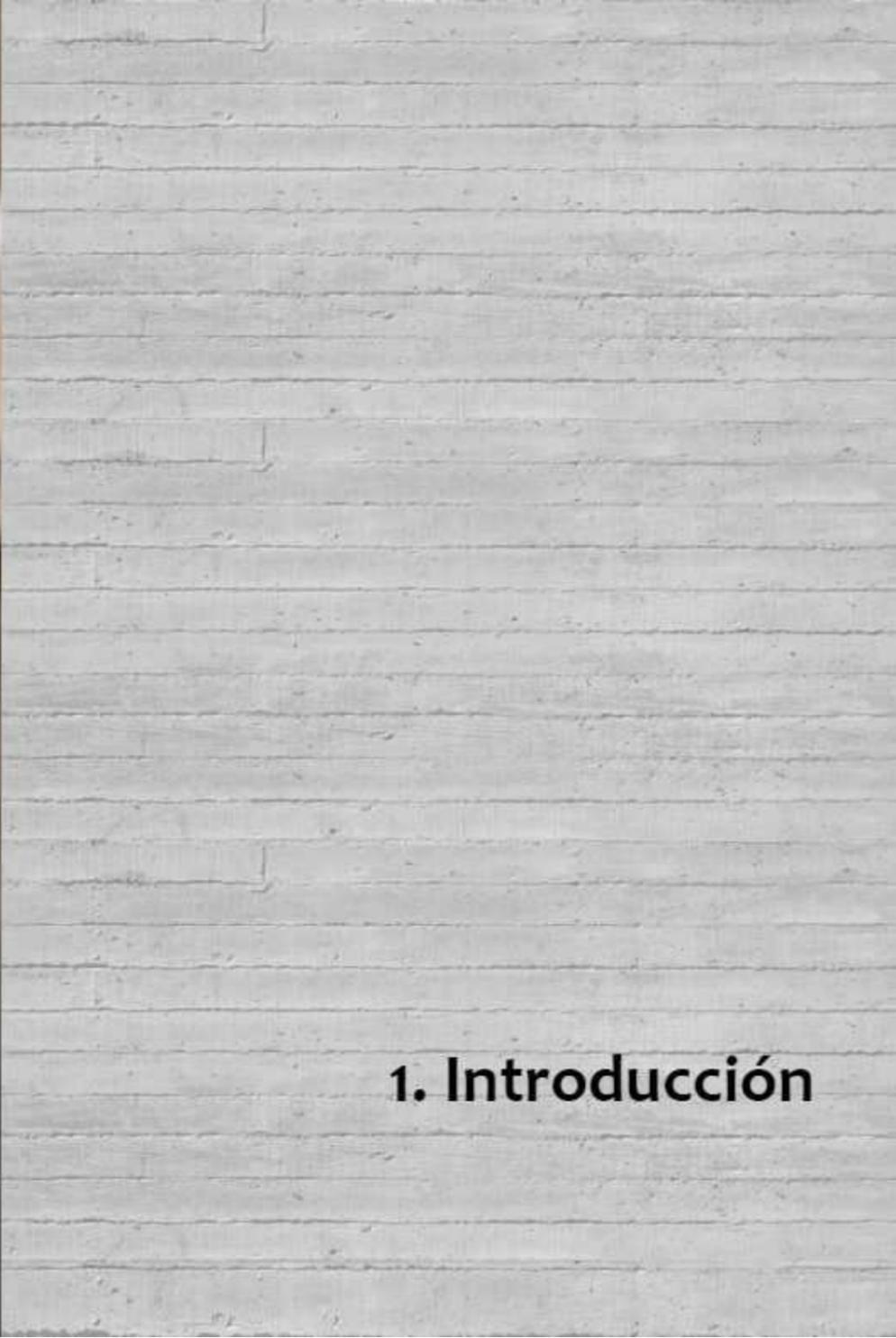
9. Bibliografía

- 9.1. Referencias bibliográficas
- 9.2. Bibliografía
- 9.3. Figuras

Los puntos en naranja se incluyen con el propósito de añadir a este trabajo, en el momento que la alerta sanitaria Covid-19 lo permita, la ejecución de las pruebas y la discusión de resultados.



Fig. 1



1. Introducción

1.1 Justificación del estudio

Actualmente el mundo de la construcción ha experimentado un cambio de paradigma, pues las personas que se enfrentan a la necesidad de obtener una nueva vivienda se decantan, en un porcentaje cada vez más elevado, por la rehabilitación. Este tipo de obras tiene una complejidad adherida, que no es otra que el reconocimiento de los sistemas constructivos utilizados. En este momento, en la mayoría de los casos, se siguen utilizando técnicas destructivas para determinar la resistencia de los elementos de hormigón armado de este tipo de obras, lo que conlleva una disminución de la capacidad de carga de la estructura.

Igualmente, el uso extensivo del hormigón como material de construcción hace oportuno la utilización de técnicas de inspección que faciliten su correcto mantenimiento. En este aspecto el ultrasonido y la termografía principalmente se ha presentado como una opción con bastante viabilidad debido a su nula acción sobre la estructura. Sin embargo, su rango de aplicación sobre elementos de hormigón se ha focalizado desde un principio a la detección de determinados daños y defectos muy específicos, a excepción de los últimos años donde se ha podido observar algunos avances a nivel de experimentación.

Todo lo anteriormente mencionado unido al interés por el análisis de la durabilidad del hormigón visto da pie a la realización de este trabajo, que relacionará todos los temas y obtendrá las conclusiones pertinentes.

1.2. Alcance

Se ha delimitado el ámbito de estudio de este Trabajo Fin de Grado a la investigación de las diferentes técnicas de análisis de la durabilidad del hormigón a través de técnicas destructivas y no destructivas. Igualmente, el alcance primitivo de esta investigación se basaba en la experimentación sobre probetas realizadas, donde se pretendía aplicar las diferentes técnicas de análisis. Esto último se ha visto modificado debido a la situación de estado de alarma motivada por la irrupción del Covid-19 en nuestro país y que nos acompaña desde la mitad del semestre, lo que ha propiciado una modificación generalizada del trabajo, basándose principalmente en la revisión de la literatura y en el análisis de obras de arquitectura con presencia de hormigón en la mayor parte de su composición.





Fig. 2

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Este trabajo tiene como objetivo principal el análisis de las diferentes técnicas de detección de lesiones en las estructuras de hormigón armado. Principalmente se centrará en el estudio de las técnicas no destructivas, es decir, aquellas que no generen defectos en las propias estructuras y que garanticen un análisis exhaustivo y veraz de los diversos elementos.

Cabe destacar igualmente que estas técnicas ya se usan en algunos aspectos de la construcción, desde un primer momento se utiliza básicamente en la detección de fuentes de humedad, aunque es cierto que recientemente sus características han permitido que se hagan estudios sobre la composición del hormigón a través de la termografía. pero este trabajo quiere ir más allá y sacarle el máximo partido a las diversas herramientas para la obtención de resultados de cualquier elemento constructivo, incluso aquellos que por su condición se encuentren en lugares inaccesibles. En este caso no solo se busca encontrar la composición del hormigón, sino que buscamos encontrar las fuentes de las principales lesiones, vengan dadas por agentes físicos o por agentes químicos.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar la situación actual en cuanto a la utilización del hormigón se refiere, sabiendo que su utilización es muy extendida en la mayoría de obras dentro del contexto actual.
- Conocer la complejidad que acarrea la detección de lesiones en elementos de hormigón.
- Identificar las diferentes técnicas que se utilizan en la actualidad para la detección de lesiones en elementos de hormigón, tanto destructivas como no destructivas.
- Diseñar el experimento sobre el cual se realizarán los diferentes ensayos.
- Conocer el alcance del uso de hormigón visto en obras de arquitectura.





Fig. 3

3. Estado de la cuestión

3.1. Un escenario de rehabilitación frente a nueva construcción.

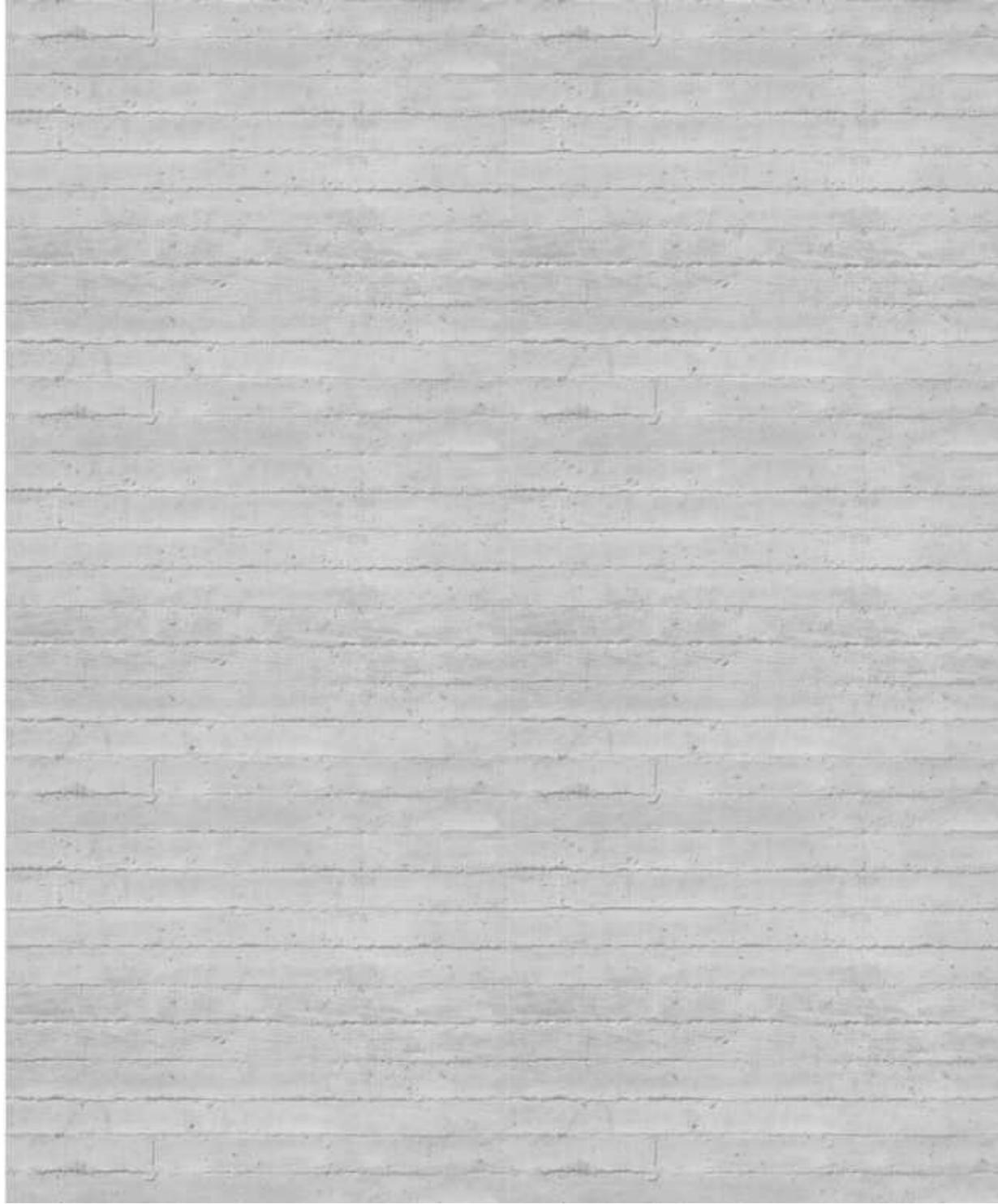
Las obras de nueva construcción han sido durante muchos años predominante en nuestro contexto, durante los años previos a la crisis inmobiliaria de 2008 la obsesión por la nueva construcción fue exponencial, hasta tal punto que se realizaban nuevas zonas residenciales sin tener en cuenta la demanda que tenía el sector. A partir de la irrupción de la crisis, un cambio de paradigma en la sociedad produjo un cambio significativo en el mundo de la construcción, las personas que se planteaban la posibilidad de adquirir un inmueble veían más factible el escenario de la rehabilitación.

Este nuevo paradigma aumenta la necesidad de detectar las características de los elementos a rehabilitar, especialmente los elementos de hormigón ya que la mayoría de las estructuras utilizan ese material. Con frecuencia se da la necesidad de cambiar el uso de un edificio, siendo crucial el conocimiento del estado en el que se encuentra el hormigón, ya que, aunque las lesiones más graves se pueden ver a simple vista, no se sabe el alcance hasta que no se profundiza en su análisis. Es en este punto donde entra en juego la utilización de técnicas para la detección de lesiones en elementos de hormigón.

Básicamente se extraían muestras que se mandaban a laboratorio para comprobar su resistencia, pero esto provoca una seria disminución de la capacidad de carga de las diferentes estructuras produciendo en muchas ocasiones la obligación de reforzar dicha estructura. Por este motivo, se realiza un gran avance en la investigación de técnicas no destructivas que nos lleven al análisis de la durabilidad de los elementos sin interferir en la capacidad de carga de la estructura.

3.2. El hormigón como material estructural más frecuente

“Mucho se ha escrito sobre el hormigón, elaboración y aplicaciones en el mundo de la construcción, debido principalmente al impacto que ha tenido este material en la historia de la arquitectura y de la ingeniería civil, cuya aparición no sólo marcó un precedente histórico, sino que además cambió nuestro hábitat inmediato y



la forma en la que percibimos nuestro entorno físico en la actualidad. Muchas son las razones que se pueden destacar por la cual esta “piedra artificial” ha ocupado un lugar tan importante dentro de la construcción, y ha logrado reemplazar, en cuanto a uso, a otros materiales más populares en la antigüedad. Razones en las que imperan todo tipo de factores, desde los de carácter social o económico, hasta los más triviales y técnicos, como su adaptabilidad a infinidad de formas en estado líquido o plástico (ideal para conseguir diversas morfologías y texturas de valor estético, así como el deseado aspecto “monolítico” buscado desde tiempos antiguos); o su alto desempeño mecánico, donde propiedades como su resistencia a distintos esfuerzos y dureza, le permite soportar cargas en diferentes direcciones, sobre todo cuando es combinando con armaduras metálicas.” [1].

Lo anteriormente citado propició no solo el uso generalizado del hormigón, sino que también impulsó muchos estudios en busca del entendimiento de este material facilitando la resolución de problemas que se resolvieron gracias a la adaptación del hormigón a múltiples formas.

No obstante, el paso del tiempo dio lugar a una preocupación generalizada por conocer este material en cuanto a envejecimiento, deterioro o lesiones se refiere. Es por ello que a partir de este momento surge cierto interés por el mantenimiento de las obras de hormigón y todo lo que ello conlleva; análisis, diagnósticos y soluciones. Lo anteriormente mencionado propició que los profesionales empezaran a preocuparse por la forma en la que envejecía el hormigón y sus consecuencias, teniendo siempre como premisa el no comprometer la estabilidad estructural.

Teniendo todo lo anterior en cuenta surgen una serie de técnicas destructivas que esclarecen la resistencia de elementos de hormigón y sus características físicas a cambio de una debilitación del elemento producida por la extracción de probetas. También se desarrollaron diversas técnicas no destructivas que se utilizan como métodos viables para el conocimiento de patologías y lesiones sin afectar la estabilidad del elemento y sin dañar su imagen visual.

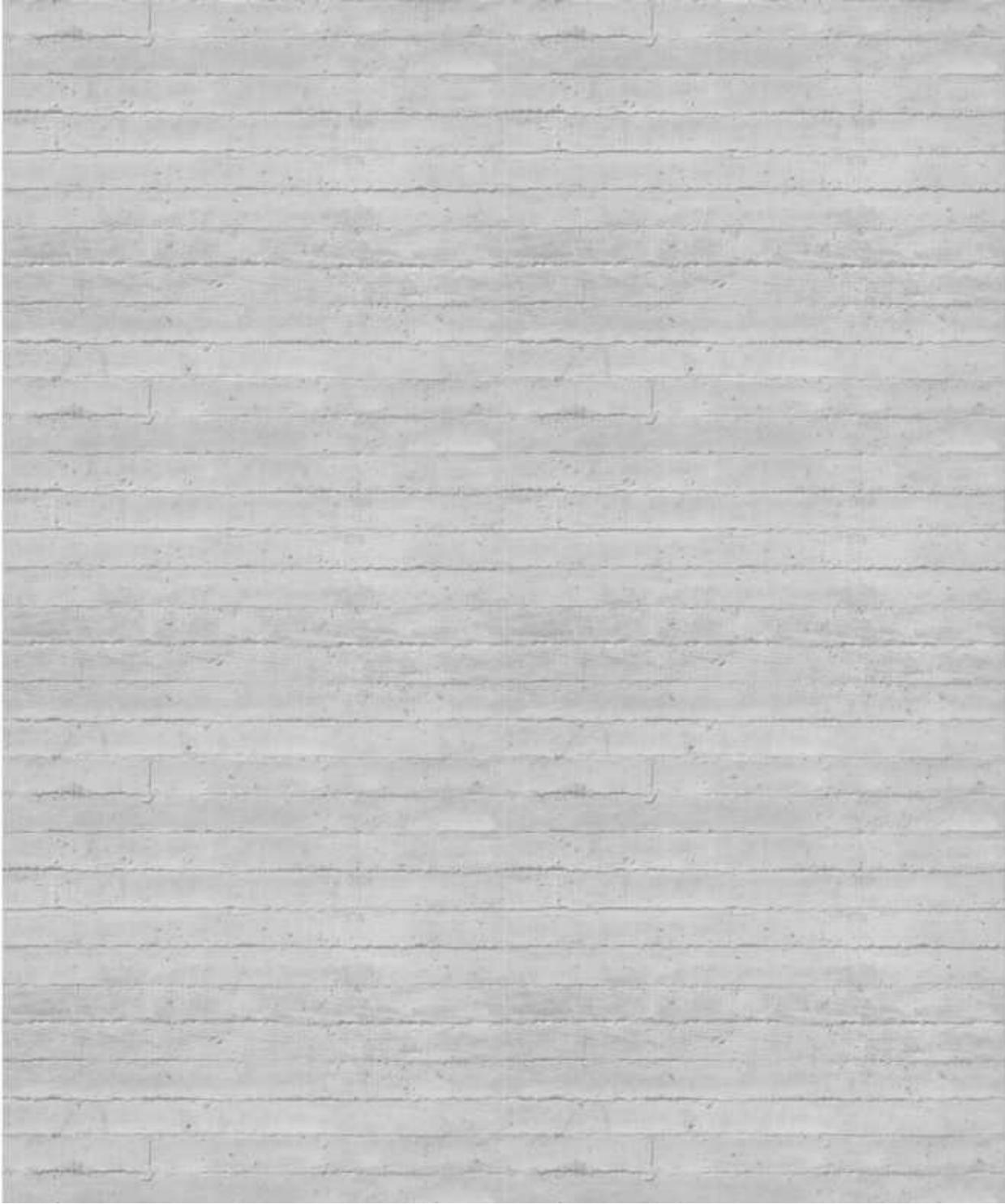
“En las ciudades de Roma, Tívoli, París, Tolón y Cesarea (Palestina) hay restos de un cemento muy duro, más resistente aún que las piedras que une, y que constituye el antiguo hormigón, cuya resistencia nadie sabe ya reproducir” [2].

La utilización del hormigón como material de construcción no solo se limita a los tres últimos siglos, sino que, desde tiempos Romanos ya se utilizaba una mezcla que, una vez fraguaba, obtenía propiedades características de la piedra. Durante los siglos posteriores al Imperio Romano esta mezcla no se utilizaba tal cual lo hacían en época Romana, sino que utilizaban morteros bastardos con una calidad muy inferior a la de su predecesor. “No fue hasta el año 1567, cuando Claude Perrault realiza una traducción comentada de Los diez libros de arquitectura de Vitrubio, que se vuelve a reintroducir los antiguos conocimientos del hormigón romano” [3].

3.3. Principales lesiones en elementos de hormigón y su diagnóstico

Por lo que se ha podido deducir anteriormente, se entiende que el hormigón es un material heterogéneo y que muchas de sus propiedades sufren cambios continuamente. A esto cabe añadir que existen otros muchos aspectos que pueden interferir en la durabilidad del hormigón, como son la procedencia y calidad de las materias primas que se utilizan para su fabricación, su elaboración o la colocación en obra. También habría que añadir que este material sufre constantes cambios en función de su contacto con agentes medioambientales originando deterioros que podrían reducir la vida útil de estos elementos.

Antes de proseguir es importante aclarar que los términos que se utilizan como sinónimos; anomalías, fallos o lesiones, se diferencien en función de su procedencia o causas que lo originan. De este modo podría decirse que existe un fallo en el hormigón cuando se pierde la capacidad de cumplir las exigencias previstas. En cambio una anomalía es la pista para concluir que existe un fallo en el material. En contraposición, existen las lesiones, que son defectos que se producen en el hormigón debido a fallos durante su proceso constructivo o su diseño.



Igualmente cabe reseñar que las causas pueden ser directas o indirectas. Las directas son aquellas en las que no interviene el factor humano, es decir, aquellas que se producen por su interacción con otros elementos o fenómenos ambientales; acciones de la gravedad, agentes atmosféricos, interferencias con otros materiales, etc... Las indirectas son aquellas en las que interviene el factor humano, principalmente vienen dadas por fallos en su ejecución o diseño.

Las principales lesiones producidas en hormigón son las siguientes:

- Estrés mecánico
- Contaminación química
- Degradación física
- Degradación de las armaduras
- Reparaciones deficientes

No obstante, en la mayoría de los casos las lesiones producidas, tanto por causas directas como indirectas, suelen estar relacionadas con el agua.



4. Revisión de la literatura

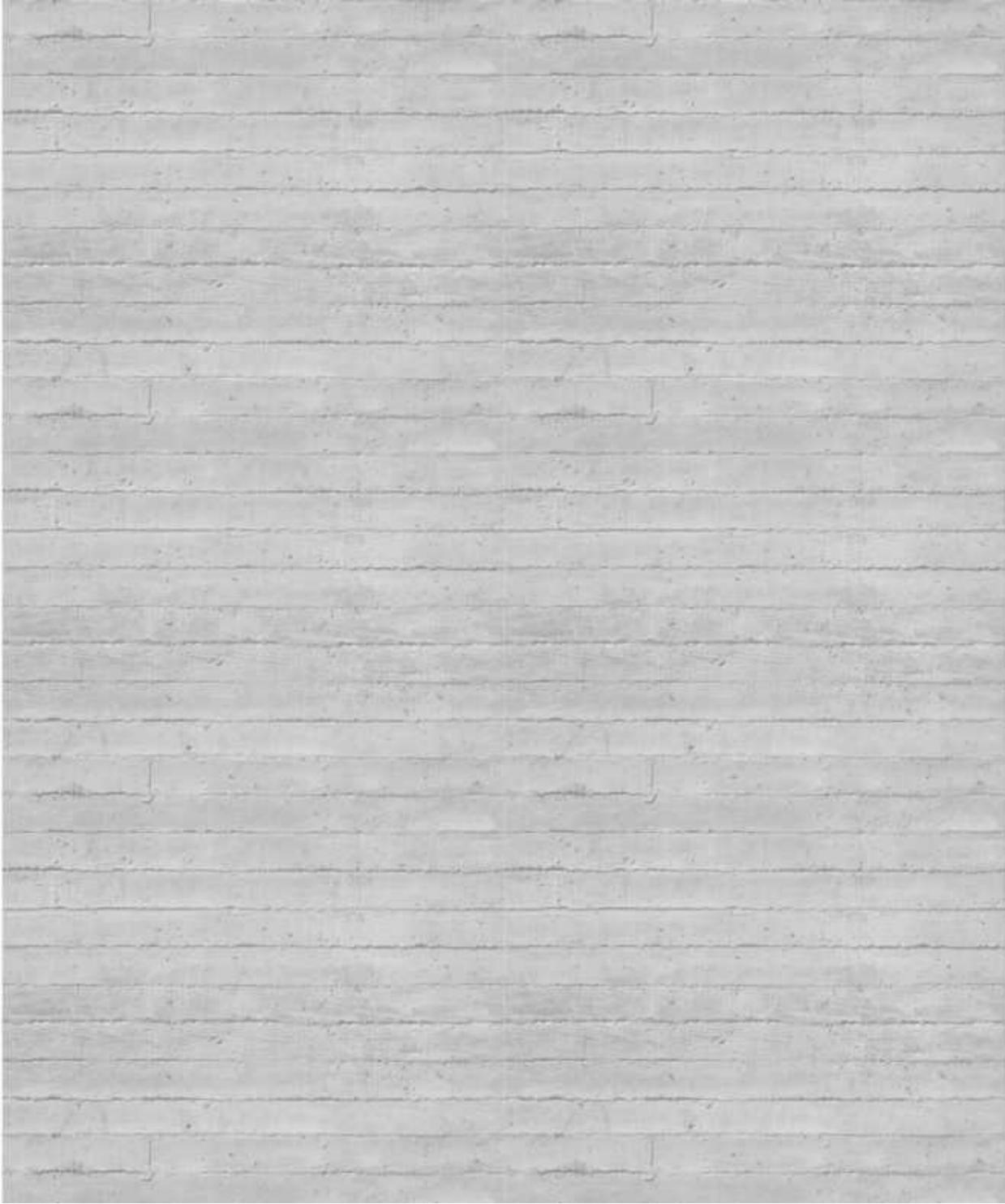
Fig. 4

4.1. Introducción

La durabilidad y el envejecimiento de las obras son dos preocupaciones que acompañan a los profesionales de la construcción. Esto se debe a que para lograr que un edificio tenga cierta durabilidad debemos cerciorarnos de que todos los elementos participantes se encuentren con un estado de mantenimiento óptimo. La estructura es sin duda el punto de análisis más importante, pues este elemento resulta transcendental a la hora de mantener una durabilidad óptima del edificio de estudio. Es por ello que en los últimos años se ha suscitado cierta preocupación por el conocimiento de las técnicas más avanzadas para la correcta evaluación de estas estructuras y su posterior mantenimiento. Por tanto, los profesionales debemos ser capaces de abarcar todas las herramientas, técnicas y procesos que nos permitan cumplir con el objetivo planteado, además de realizar las pruebas de la manera más óptima posible; rapidez y economía.

Actualmente se utilizan muchos tipos de ensayos en la evaluación de estructuras de hormigón. Estos podrían clasificarse en tres grandes grupos; ensayos destructivos, ensayos semi-destructivos y ensayos no destructivos, aunque es cierto que en la actualidad existe una tendencia clara por la utilización de estos últimos, se siguen utilizando ensayos destructivos y semi-destructivos en muchas ocasiones. En el marco contextual en el que nos encontramos, donde la rehabilitación ha experimentado un claro aumento de la demanda, resulta sumamente importante el conocimiento de los sistemas constructivos empleados en la ejecución de esos edificios. En la actualidad existe cierto interés por la investigación y utilización de técnicas no destructivas, pero es cierto que en numerosos casos se siguen utilizando ensayos destructivos que debilitan aún más las estructuras de hormigón llegando incluso a consecuencias de refuerzo de la misma para garantizar la estabilidad y puesta en servicio.

El deterioro de los edificios requiere métodos efectivos de monitoreo y reparación. El procedimiento de mantenimiento generalmente emplea una combinación de técnicas. Primero, se aplica una técnica de monitoreo global para la evaluación general de la estructura de manera eficiente en el tiempo. Los



resultados indican la gravedad de la afección y localizan las partes específicas de la estructura que requieren un examen más detallado. En consecuencia, se puede aplicar otra técnica localmente en las posiciones especificadas para una caracterización más precisa de los parámetros de daño.

Como introducción podríamos decir que una de las lesiones más comunes en hormigón son las grietas producidas por la corrosión de las armaduras si los agentes ambientales penetran en el material. La capa de óxidos formada en la barra, aplica tensiones adicionales en la superficie del hormigón, lo que resulta en su agrietamiento. Estas grietas se propagan con el aumento de la corrosión, sin embargo, no son visibles hasta que rompen la superficie. Por lo tanto, su evaluación por inspección visual no es posible hasta tarde. Cuando rompen la superficie aceleran el deterioro a través del suministro directo de humedad y agua a la propia grieta. Es razonable que se exija una metodología de ensayo no destructivo para la evaluación temprana de la condición del material a fin de tomar las decisiones oportunas y reducir los costes de reparación una vez producida la lesión.

En este análisis de la literatura profundizaremos en las tendencias actuales, aunque haremos un repaso por todas ellas para conocer las técnicas que han marcado el desarrollo histórico de este tipo de evaluaciones. En primer lugar, haremos una reflexión sobre la dificultad de evaluar el estado de las estructuras de hormigón Armado. Posteriormente, describiremos los diferentes ensayos destructivos y semi-destructivos para finalmente centrarnos en los ensayos no destructivos.

4.2. Criterios de búsqueda

Para la investigación de este estudio se están utilizando diversas bases de datos online que nos permiten la descarga inmediata de artículos. Principalmente han sido utilizadas; Fama, Science Direct y Google Scholar Aunque la mayoría de los artículos han sido obtenidos a través de Science Direct.

Los criterios introducidos en el buscador para localizar los artículos que se clasifican en el siguiente punto son los siguientes:

- Análisis de hormigón
- Técnicas destructivas
- Técnicas no destructivas
- Termografía
- Ultrasonido
- Esclerómetro
- Pachómetro
- Resistividad eléctrica
- Lesiones en hormigón
- Patologías hormigón

Todas las búsquedas de los criterios anteriores se han realizado igualmente en inglés, obteniendo más referencias ya que, algunas bases de datos que hemos utilizado sólo usa publicaciones en ese idioma

Igualmente cabe destacar que la búsqueda ha arrojado muchos más resultados en inglés. Destacar igualmente que en su mayor parte estas investigaciones se hacen fuera de nuestro país a pesar de estar relacionado estrechamente con la cultura de construcción en hormigón armado. Definitivamente se detecta una clara preocupación por conocer y clarificar la eficacia de estas técnicas ya que la mayoría de los estudios se centran principalmente en la última década.

4.3. Tabla de literatura revisada

En las siguientes páginas se realiza una clasificación de la literatura escogida, ordenándolas por año. Cabe destacar que los artículos utilizados son esencialmente de las dos últimas décadas, aunque existe un artículo de 1994 que he decidido incluir debido a su importancia.

Autor/es	Año	Título	Técnicas destructivas	Técnicas no destructivas	Termografía	Ultrasonidos	Pachómetro	Resistividad eléctrica	Esclerómetro
Francisco Hostalet Alba	1994	Situación actual de las técnicas de ensayo no destructivo del hormigón	X	X					
Eva Barreira y Vasco P. de Freitas	2004	Evaluation of building materials using infrared thermography				X			
Xavier De'robert, Jean laquinta, Gilles Klysz y Jean-Paul Balayssac	2007	Use of capacitive and GPR techniques for the non-destructive evaluation of cover concrete		X					
Ercolani, G.D., Ortega N.F. y Señas L	2007	Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas					X		X
D.G. Aggelis, E.Z. Kordatos, E.Z. Kordatos y T.E. Matikas	2009	Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete				X	X		
C. Lerma, A. Mas, E. Gil, J. Vercher y M.J. Peñalver	2012	Pathology of building materials in historic buildings. Relationship between laboratory testing and infrared thermography		X	X				
Silvana Flores Larsen y Marcos Hongn	2012	Termografía infrarroja en la edificación: aplicaciones cualitativas				X			
S. Lagüela, J. Armesto, P. Arias y J. Herráez	2012	Automation of thermographic 3D modelling through image fusion and image matching techniques		X	X				
Matthew Fox, David Coley, Steve Goodhew y Pieter De Wilde	2012	Comparing transient simulation with thermography time series		X	X				
Nuria González Roura	2013	Comparación De Técnicas No Destructivas En La Inspección del Hormigón Armado: Georradar Versus Tomografía ultrasónica		X		X			

Fig. 5

Autor/es	Año	Título	Técnicas destructivas	Técnicas no destructivas	Termografía	Ultrasonidos	Pachómetro	Resistencia eléctrica	Esclerómetro
Cely Natali Guerrero Mena	2013	Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón			X				
Valeria Badilla Eyherregaray	2014	Correlación de diferentes métodos de detección no destructivos de anomalías en el hormigón	X			X	X	X	X
Matthew Fox, David Coley, Steve Goodhew y Pieter De Wilde	2014	Time-lapse thermography for building defect detection			X				
Saleh Abu Dabous, Salam Yaghi, Sabah Alkass y Osama Moselhi	2015	Concrete bridge deck condition assessment using IR Thermography and Ground Penetrating Radar technologies	X	X					
Shuhei Hiasa, Recep Birgul y F. Necati Catbas	2016	A data processing methodology for infrared thermography images of concrete bridges			X				
Matthew Fox, Steve Goodhew y Pieter De Wilde	2016	Building defect detection: External versus internal thermography			X				
B. Craeye, H. van de Laar, J. van der Eijk, W. Gijbels y L. Lauriks	2017	On-site strength assessment of limestone based concrete slabs by combining non-destructive techniques	X			X		X	X
Ayca Kirimtat y Ondrej Krejcar	2018	A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects			X				
Harsh Rathod y Rishi Gupta	2019	Sub-surface simulated damage detection using Non-Destructive Testing Techniques in reinforced-concrete slabs	X	X	X	X		X	
Michal Janku, Petr Cikrle, Jirí Grošek, Ondřej Anton y Josef Stryk	2019	Comparison of infrared thermography, ground-penetrating radar and ultrasonic pulse echo for detecting delaminations in concrete bridges			X	X			

Fig. 6

4.4. La complejidad de evaluación del estado de estructuras de hormigón

A la hora de realizar los pertinentes ensayos sobre las estructuras de hormigón armado nos encontramos con ciertas dificultades que nos obstaculizan el conocimiento real de todos los elementos de una estructura de hormigón armado. Estas dificultades se presentan con mayor frecuencia en aquellas zonas que por su naturaleza son inaccesibles, esto provoca que tengamos que utilizar diversas técnicas para el conocimiento de toda la estructura, incluso existirán ocasiones en las que la inaccesibilidad impedirá la realización de ensayos en puntos concretos.

La problemática de la inaccesibilidad se agrava fundamentalmente en aquellos ensayos que se realizan por contacto directo con el elemento de hormigón, estos principalmente son los ensayos destructivos y semi-destructivos.

Otra complejidad añadida a los dos últimos tipos de ensayos nombrados viene dada por el tiempo de análisis de las muestras obtenidas. Normalmente en este tipo de análisis no se pueden obtener los datos inmediatamente, sino que estos son enviados a laboratorio y posteriormente se obtiene la respuesta, lo que provoca una demora importante a la que hay que añadir la posibilidad de repetir algunos de los ensayos para clarificar algunos resultados.

Es cierto que existe una clara complejidad en el análisis de estructuras de hormigón armado, pero la tendencia actual se decanta por la utilización de hormigón armado en las estructuras de los edificios de nueva construcción, lo que da pie a optimizar los métodos de valoración y análisis de las diversas estructuras para coordinar un plan de mantenimiento personalizado que optimice la durabilidad y regularice el envejecimiento de las estructuras.

La labor de optimización de recursos, a la hora de analizar un elemento de hormigón, viene dada por las técnicas no destructivas, que son aquellas que se encargan de la obtención de datos de manera prácticamente instantánea y sin perjudicar la estabilidad del elemento. A pesar de la evolución del hormigón como material de construcción más utilizado, aún se siguen utilizando técnicas de construcción que no son las más óptimas o que no se realizan de la forma que se establece para obtener el mejor rendimiento.

4.5. Técnicas destructivas

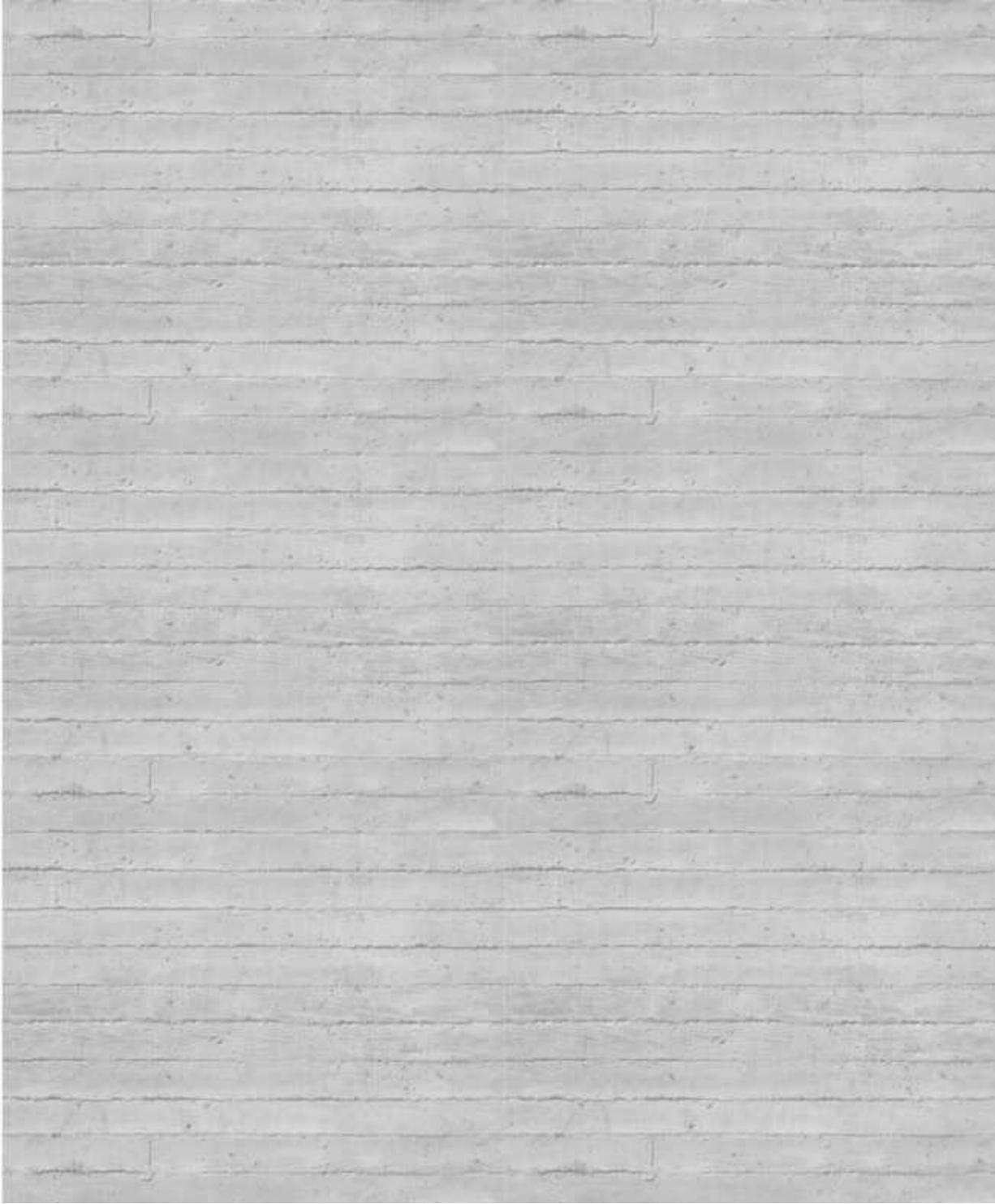
Actualmente las técnicas destructivas se siguen utilizando debido principalmente a la exactitud de sus cálculos. Estos ensayos se realizan directamente sobre muestras obtenidas del propio elemento de hormigón, lo que da como resultado un conocimiento amplio y preciso de las características, mecánicas especialmente, del hormigón empleado en la obra a analizar. Cabe destacar que estas técnicas cada vez se están apartando más de la vida cotidiana de la construcción, poco a poco las técnicas no destructivas se están comiendo el terreno de juego de las destructivas ya que sus ventajas frente a estas son múltiples.

Históricamente las pruebas realizadas sobre hormigón endurecido se hacían mediante la obtención de muestras del propio elemento a analizar y su posterior traslado a laboratorio para conocer sus capacidades mecánicas. Pero conforme han avanzado los recursos tecnológicos, los laboratorios han desarrollado una serie de pruebas para obtener las siguientes características a través de una muestra obtenida previamente. Las pruebas como tal no son destructivas, pero el método para obtener la muestra sí lo es, por ello se clasifican en este apartado.

Para obtener las características de densidad, absorción y porosidad se realizan ensayos que consisten en introducir la muestra en agua durante 24 horas y a continuación a su secado en estufa a una temperatura entre 100 y 110 °C durante otras 24 horas. Con este procedimiento podemos obtener la masa aparente en agua, la masa saturada superficie seca y la masa seca, datos necesarios para poder obtener la densidad, absorción y porosidad del hormigón endurecido. Este ensayo viene recogido en la UNE EN 12390-7:2000.

En este párrafo nos centraremos en la obtención de la resistencia a compresión. Esta prueba sin duda es la más buscada cuando se realiza este tipo de análisis, ya que, aunque el hormigón resiste solicitaciones de tracción y compresión, destaca su capacidad de soportar altas solicitaciones de esfuerzos a compresión. Por ello, es un elemento que se utiliza principalmente para que trabaje a compresión.

El ensayo de resistencia a compresión se contempla en la normativa UNE EN 12390-3:2001



Los ensayos de estas muestras se suelen llevar a cabo sobre al menos 2 muestras para homogeneizar resultados. Antes de realizar el ensayo habría que refrentar las caras superiores e inferiores de las probetas para conseguir la máxima planeidad posible y asegurar que la compresión se realiza en toda la muestra de manera uniforme. El refrentado debe ser lo más fino posible sin superar los 5mm de grosor y se suele realizar a partes iguales de azufre y arena sílicea fina. Una vez se introduce en la máquina se le aplica una carga a una velocidad constante de entre 0,2 MPa/s y 1,0 MPa/s y se incrementa continuamente aproximadamente un 10% hasta que la probeta colapse. El resultado se obtiene mediante una fórmula matemática incluida en la propia normativa anteriormente citada.

Otro de los ensayos que podríamos enmarcar dentro de las técnicas destructivas sería el ensayo de resistencia a tracción indirecta, recogida en la norma UNE EN 12390-3:2001. Este ensayo se realiza siguiendo el mismo método que el anterior descrito, aunque en este caso la probeta se coloca de forma transversal en la prensa y sobre la misma se aplica una carga a una velocidad constante de entre 0,04 MPa/s y 0,06 MPa/s y se incrementa continuamente aproximadamente un 1% hasta que la probeta colapse.

Continuamos con la descripción del ensayo del módulo de elasticidad, que contempla la norma UNE 83313:1996. Este ensayo consiste en la introducción de la muestra en un aparato de medida que tome lecturas de la muestra a 1/4 de la basa inferior y a 1/4 de la base superior. A continuación se le aplica una tensión inicial de 0,5 N/mm². A continuación la tensión se incrementa a una velocidad de 2 N/mm² por segundo hasta que la tensión alcanza 1/3 de la resistencia a compresión del hormigón, posteriormente se mantiene la carga durante 60 segundos y se toman las lecturas correspondientes cada 30 segundos, después se reduce la carga hasta el nivel inicial y se repite el proceso utilizando las mismas tensiones para así obtener el módulo de elasticidad.

Finalmente, podrías concluir este apartado con otro ensayo que es utilizado frecuentemente, se trata de la resistencia al fuego del hormigón. Este ensayo se recoge en la norma UNE EN ISO 1182:2002 .

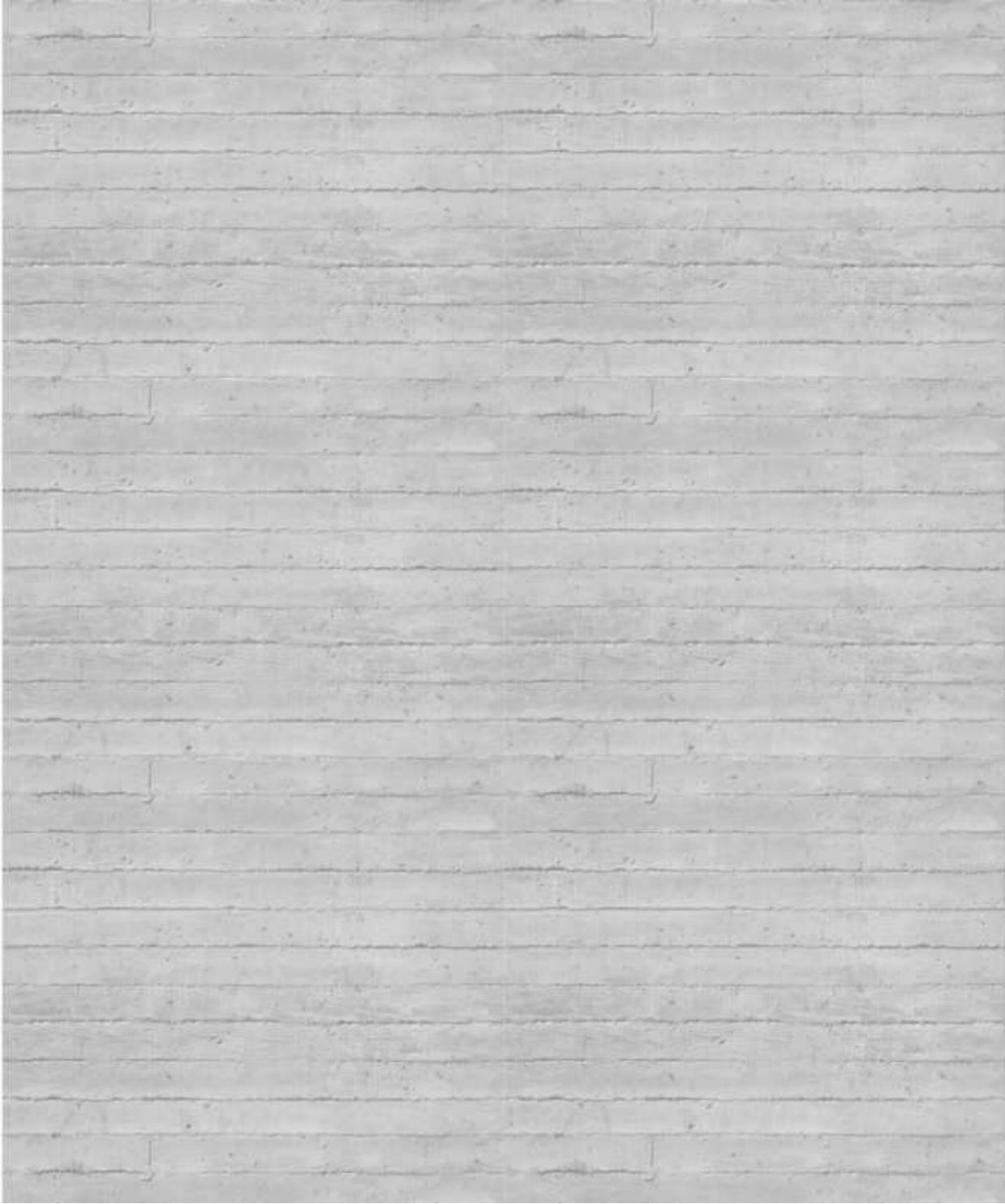
Este ensayo se realiza, básicamente, sometiendo las muestras a altas temperaturas, para este tipo de ensayos se utiliza un horno en el que, a través de instrumentos específicos se controla la temperatura de las muestras. Una vez eliminada la fuente de calor se evalúan las deficiencias producidas; reducción de capacidad de carga, pérdida de peso de los hormigones...

4.6. Técnicas no destructivas

Los elementos de hormigón armado al igual que otros materiales, sufre cambios en su estructura interna debido a agentes externos que pueden llegar a debilitarla. Estos agentes pueden ser físicos o químicos. En la práctica de un caso real estos agentes podrían venir dado por diversos motivos entre los cuales destacan; incendios, exposición a ambientes marinos, corrosión de las armaduras, etc.... Por ello es indispensable realizar periódicamente un mantenimiento eficaz que permita aumentar la durabilidad de la estructura, además esta debe someterse periódicamente a ensayos no destructivos que marquen de manera personalizada las estrategias de mantenimiento particular de las estructuras.

Existen ciertas patologías que solo se muestran visualmente cuando son irreversibles, como puede ser la corrosión de la armadura, lo que provoca patologías indetectables en su mantenimiento si este no se realiza con herramientas que muestren la suficiente información del estado del hormigón.

En este aspecto, en la actualidad, se están desarrollando muchos estudios sobre este tipo de técnicas que buscan el desarrollo de métodos rápidos, económicos y versátiles que permitan conocer algunas propiedad física o mecánica del hormigón, para poder estimar la resistencia a compresión del producto. Como consecuencia se desarrollaron diversas técnicas; abolladura (Williams, 1936), ultrasonido (Leslie y Chesman; Jones, 1945) y esclerómetro (Schmidt, 1948). A su vez han ido apareciendo otras técnicas que estudia las estructuras de hormigón mediante métodos; magnéticos, radiactivos, ensayo de tipo químico, nucleares, eléctrico...



De todas las técnicas analizadas por los diferentes investigadores cabe destacar por su conocimiento y aplicabilidad las siguientes:

- Termografía
- Ultrasonidos
- Esclerometría
- Resistividad eléctrica
- Pachometría

“Los métodos de ensayo anteriormente mencionados se encuentran agrupados bajo la denominación de “Ensayos de Información”, regulados en el artículo 70 de nuestra Instrucción EH-91 CU)- Asimismo las normativas UNE 83.307-86 (13) y UNE 83.308-86 (14), aplicables al método esclerométrico y ultrasónico, respectivamente, hacen referencia a los principales campos de aplicación de ambos métodos, procedimiento de ensayo y factores que influyen en los resultados obtenidos en los ensayos”. [4]

Para finalizar este apartado, destacaré 3 aspectos generales que he podido observar a través de la revisión de la literatura. Los expertos que se dedican a la investigación de este tipo de ensayos manifiestan que las propias investigaciones se están llevando a cabo desde un punto de vista competitivo, es decir, se están realizando pruebas para que una técnica sea capaz de evaluar todos los defectos del hormigón, sin tener en cuenta la complementación con el uso de varias técnicas simultáneas.

El primero de los aspectos a destacar es el introducido en el párrafo anterior, existen multitud de técnicas no destructivas de análisis de hormigón compitiendo por su exclusividad, en lugar de buscar el rango de situaciones o variables que puede atender una de las técnicas, situaciones en las que se podría utilizar cooperativamente varias técnicas que se complementen.

Por otra parte está la inexperiencia o escasa experiencia de los intérpretes de estas técnicas no destructivas, que no son conscientes de las limitaciones físicas de algunos ensayos y deducen conclusiones

injustificadas a partir de un número de resultados muy limitado.

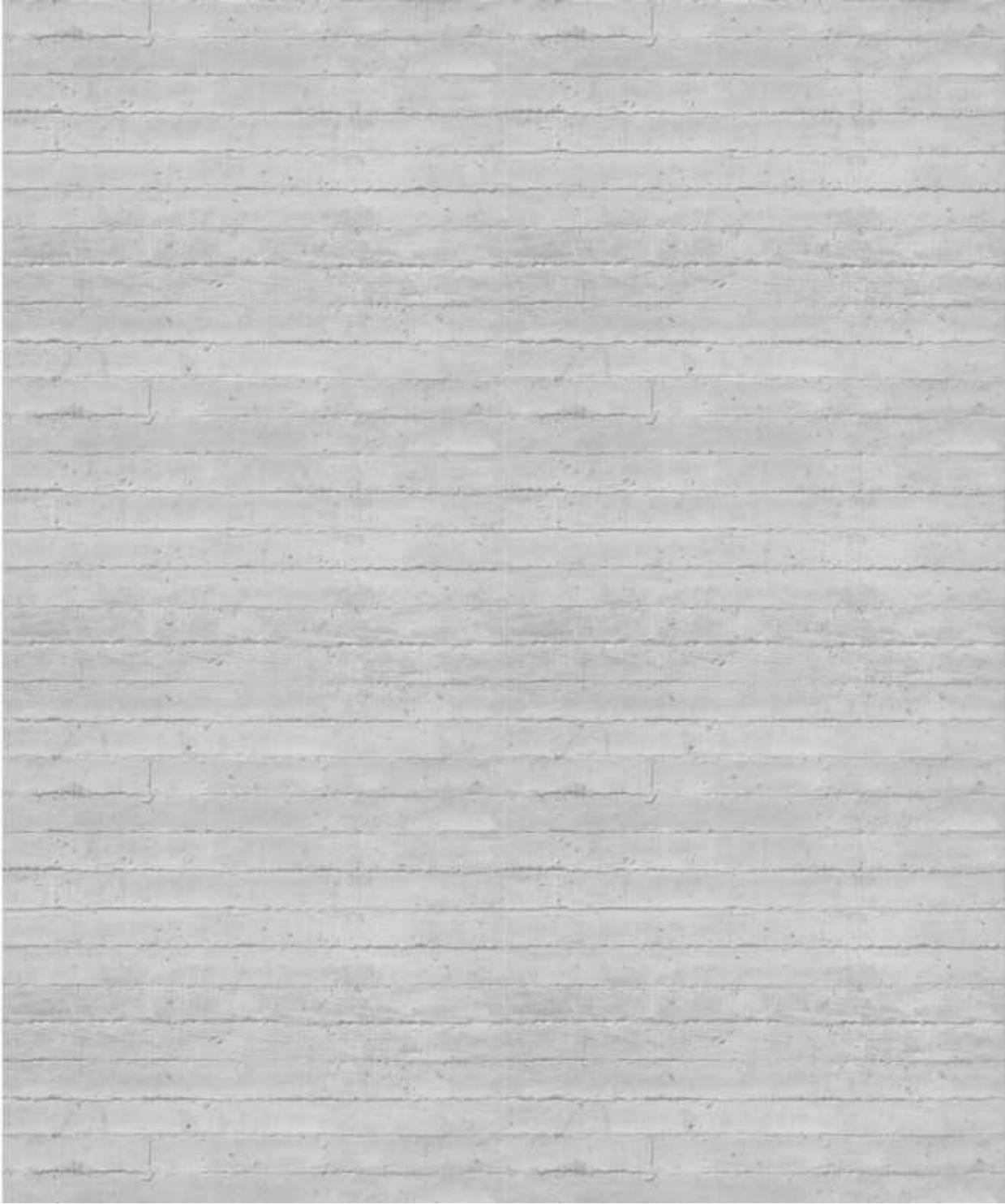
Como tercer aspecto común a destacar, el desconocimiento a escala general de las distintas técnicas de detección no destructiva en hormigón. Lo que produce que aún no podamos utilizar estas técnicas bajo unas óptimas garantías de calidad. Calidad que actualmente buscan los expertos y que cada vez está más cerca del campo de trabajo y de su posible utilización en el mundo de la arquitectura.

Existen multitud de ensayos no destructivos sobre hormigón, cada uno con un nivel distinto de desarrollo, pero este trabajo se centrará en; Termografía, ultrasonidos, resistividad eléctrica, esclerómetro y pachómetro. Todos se detallarán en los siguientes subapartados donde se hará un cribado de información dentro de toda la literatura revisada.

4.6.1. Termografía

Comenzaremos por la termografía. Esta técnica aún está en su fase de desarrollo, de hecho la fase experimental de este trabajo iba principalmente enfocada al desarrollo de la investigación sobre la aplicabilidad de la termografía en elementos de hormigón. Esta técnica se ha venido utilizando en los últimos años en muchos campos de la ciencia, en la arquitectura se utiliza actualmente para la detección de fuentes de humedad y el reconocimiento de puentes térmicos principalmente, aunque con el desarrollo de esta técnica cada vez son más los usos que se le pueden aplicar dentro del campo de la arquitectura, como es el reconocimiento del estado de conservación del hormigón.

La termografía infrarroja es uno de los métodos no destructivos que recientemente se ha desarrollado para detectar deterioros invisibles que incluyen delaminaciones y huecos en estructuras de hormigón con una precisión razonable. También ayuda a evitar el tiempo y los gastos de obtener acceso a la superficie de hormigón para realizar pruebas de sondeo tradicionales. La termografía es un enfoque adecuado para la inspección de infraestructuras civiles, ya que es un método sin contacto y las imágenes infrarrojas



pueden representar instantáneamente una amplia gama de estructuras de hormigón al mismo tiempo. Por lo tanto, la termografía puede ser la metodología no destructiva más rápida y fácil con respecto a la recopilación de datos entre los otros métodos no destructivos.

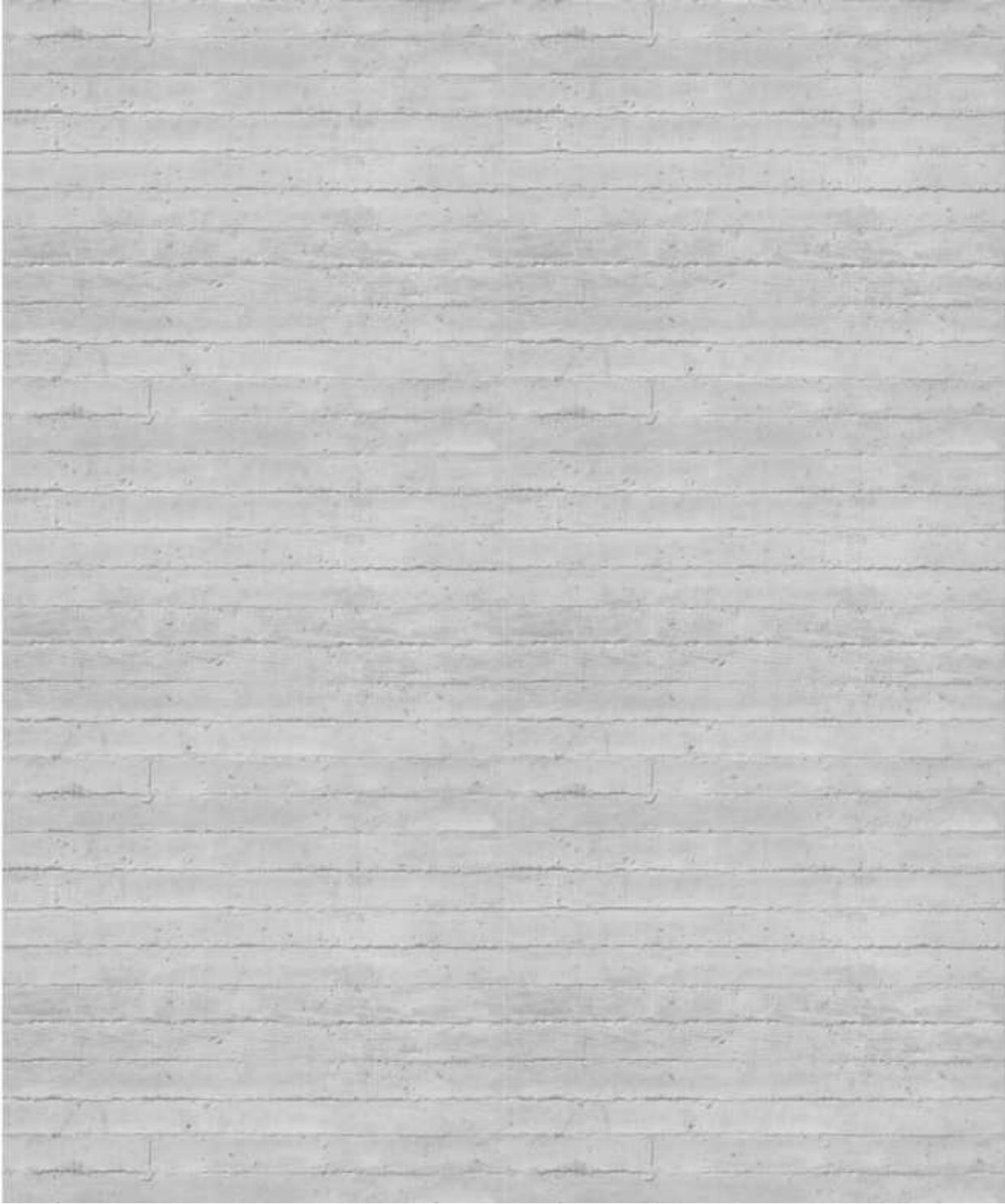
Uno de los principales inconvenientes a la hora de realizar las pruebas de termografía es la radiación solar y su relación con el elemento a analizar como así se describe en el artículo de Shuhei Hiasa, Recep Birgul y F. Necati Catbas "Through a field laboratory experiment and FE modeling, Hiasa concluded in his Ph.D. dissertation that the preferable time period to apply IRT for concrete bridge deck inspection is during the nighttime cooling effect in order to reduce the possibility of misdetection due to sunlight, even though the delaminated areas were also observed clearly during the daytime heating period in the study. Hiasa also found that there are interchange periods between the nighttime cooling effect and the daytime heating effect about 1–2 h in the morning and evening under the given conditions, and IRT cannot detect delaminations during these periods." [A través de un experimento de laboratorio de campo y modelado, Hiasa concluyó en su disertación que el período de tiempo preferible para aplicar termografía para la inspección de la cubierta del puente de hormigón es durante el efecto de enfriamiento nocturno para reducir la posibilidad de una detección errónea debido a la luz solar, a pesar de que las áreas delaminadas también se observaron claramente durante el período de calentamiento durante el día en el estudio. Hiasa también descubrió que existen períodos de intercambio entre el efecto de enfriamiento nocturno y el efecto de calentamiento durante el día aproximadamente 1 a 2 h. en la mañana y en la noche en las condiciones dadas, y la IRT no puede detectar delaminaciones durante estos períodos.][5].

Actualmente se definen dos tipos de métodos en termografía: cuantitativa y cualitativa. Una de las principales diferencias entre estos dos métodos es la normativa vigente, que debe conocerse especialmente para la termografía cualitativa. En el contexto de la Norma Internacional (1998), los métodos cualitativos se utilizan generalmente para detectar grandes variaciones en las propiedades térmicas de los componentes que constituyen las envolventes externas de los edificios y la estanqueidad al aire. Por otro lado, para la determinación del grado de aislamiento térmico y hermeticidad de una estructura, se

aplican métodos cuantitativos. A través de métodos cuantitativos y cualitativos, las irregularidades de la distribución térmica en las superficies se detectan visual o numéricamente según los patrones térmicos en los termógrafos. Esto anteriormente descrito hace referencia al uso de la termografía en el mundo de la edificación hasta la actualidad, aunque es cierto que esta técnica se muestra como una nueva técnica de detección no destructiva en hormigón debido a sus grandes cualidades. A través de una fotografía con sus características termográficas podemos obtener modelos numéricos que nos identifiquen los puntos donde se están produciendo lesiones, ya que estas se generan a través de un esfuerzo que genera calor y ese es el calor que aprovecha esta técnica para detectarlo.

Estas detecciones, según varios investigadores como Cely Natali Guerrero Mena han defendido, en este caso en su Trabajo Fin de Máster, que con la termografía se pueden apreciar irregularidades hasta una profundidad de 10cm. Igualmente argumente que *“Existen diferentes variables y factores que afectan la correcta medición termográfica y pueden afectar en la detectabilidad de defectos, tales como: variaciones de emisividad, reflexiones, por la curvatura de la superficie, ángulo o campo de visión, problemas provenientes del propio equipo de captura, interferencias del medioambiente (viento, luz solar, humedad, etc.), medición de temperaturas cercana a la ambiental o el ruido ocasionado por radiaciones del entorno. Así como otros factores que tienen que ver con el tamaño y profundidad a que se encuentran los defectos de la superficie del elemento estudiado.”*[6]

Como conclusión a este breve apartado de termografía decir que a pesar de que esta técnicas puede ser una de las más completas y sencillas a la hora de analizar la durabilidad del hormigón, necesita que se ejecute por una persona cualificada que conozca las condiciones óptimas de funcionamiento de una cámara termográfica.



4.6.2. Ultrasonidos

“El interés de este ensayo no destructivo es que en términos generales se puede deducir que, a mayor velocidad de propagación del impulso ultrasónico, mayor será la resistencia mecánica del hormigón, ya que el impulso se transmite por la masa de la estructura, entonces, mientras más densa es, más rápido podrá transmitir este impulso. La velocidad de propagación ultrasónica dependerá directamente del contenido de cavidades y de la estructura de poros del hormigón. Como también de la posibilidad de que se presenten fisuras o grietas en las superficies del espécimen a ensayar. Un impulso ultrasónico se verá interrumpido por estas posibles lesiones, lo que retardará el traspaso de las vibraciones por el medio conductor que representa ser el hormigón.”[7]

Por lo tanto, podemos decir que la diferencia de densidad de un elemento a analizar produce variaciones en la velocidad de los impulsos ultrasónicos, lo que no da pie a pensar que en las zonas donde se produzcan esas variaciones existen anomalías, que quizás no se vean, pero que en un futuro puede producir lesiones graves. La corrosión del refuerzo metálico en estructuras de hormigón conduce a grietas que se extienden hacia la superficie. Estas grietas no muestran ningún signo visual hasta que rompen la superficie, exponiendo la estructura a un deterioro más acelerado, pero si son captadas a través de pruebas ultrasónicas se podría actuar sobre el espécimen antes de que se produzcan esas grietas y ya sea tarde para una intervención a baja escala.

De igual modo esta técnica podría utilizarse para otras muchas lesiones, como por ejemplo las coqueras. Estas se pueden analizar normalmente de manera visual, pero es cierto que en algunas ocasiones se producen coqueras internas producidas por un mal vibrado que son indetectables, el ultrasonido sería capaz de detectarlas para actuar sobre ellas.

Como conclusión de esta breve descripción y aplicabilidad, podríamos decir que esta técnica destaca por su facilidad de uso y su gran abanico de posibilidades para trabajar frente a diversas lesiones.

4.6.3. Esclerómetro

“La técnica de la medición esclerométrica está basada en un martillo de rebote, también llamado Martillo Schmidt, el que tiene como principio la relación que existe entre la dureza de una superficie y la energía recuperada en el rebote que se genera sobre esta superficie en un elemento que ejerce una fuerza conocida. Se usa como referencia para deducir la resistencia a la compresión de la estructura de hormigón.” [8]

Cabe destacar en primer lugar que esta técnica podría clasificarse en técnicas semi-destructivas, aunque es cierto que su efecto sobre las estructuras es superfluo. Igualmente cabe decir que esta técnica no presenta una alta fiabilidad debido a que si se ejecutan varias pruebas sobre el mismo elemento, los resultados podrían ser variables, en algunas ocasiones, significativamente. Actualmente se ha normalizado la cantidad de impulsos que se realizan sobre el elemento de hormigón, dejándolos en 9 o 10 golpes y obteniendo una media para sacar un valor representativo de cada punto.

A pesar de lo citado anteriormente, varios estudios han conseguido demostrar la gran fidelidad de los datos obtenidos con el esclerómetro, comparándolos con los obtenidos mediante prensa hidráulica en laboratorio, lo que nos hace ver que puede ser un claro sustituto de las técnicas destructivas de análisis del hormigón, evitando la afección de las estructuras.

Una de las cosas a tener en cuenta es la edad del espécimen a analizar. La carbonatación del hormigón se produce conforme el espécimen envejece, es un proceso continuo que va endureciendo la capa más externa del hormigón y que puede maquillar los datos que se obtengan, por ello es importante conocer la edad del elemento y, en el caso de que exista carbonatación, realizar una limpieza superficial mediante una amoladora manual, que favorezca la veracidad del estudio y permita realizar el mismo sobre un hormigón en buen estado. Como conclusión cabe destacar que, a pesar de no ser un ensayo muy exacto, sí puede ser sustituto de la extracción de muestras y posterior ensayo en laboratorio debido a su casi nula incidencia sobre la estructura a analizar.

FUENTE	RESISTIVIDAD	CLASIFICACION DE LA COROSION
Vassie	> 12 kΩcm	Corrosión poco probable
	5 a 12 kΩcm	Corrosión probable
	<5 kΩcm	Corrosión casi segura
Polder	>100 kΩcm	Riesgo de corrosión despreciable
	50 a 100 kΩcm	Riesgo de corrosión bajo
	10 a 50 kΩcm	Riesgo de corrosión moderado
	<10 kΩcm	Riesgo de corrosión alto
Rodríguez et al	>100 kΩcm	Velocidad de corrosión muy lenta incluso con hormigón carbonatado o contaminado por cloruros
	50 a 100 kΩcm	Velocidad de corrosión lenta
	10 a 50 kΩcm	Corrosión de moderada a alta cuando el acero este activo
	<10 kΩcm	La resistividad no controla la velocidad de corrosión
Schiesel and Raupach	>20 kΩcm	Velocidad de corrosión lenta
	10 a 20 kΩcm	Velocidad de corrosión moderada/lenta
	5 a 10 kΩcm	Velocidad de corrosión alta
	<5 kΩcm	Velocidad de corrosión muy alta
CEB-192	>20 kΩcm	Velocidad de corrosión despreciable
	10 a 20 kΩcm	Velocidad de corrosión bajo
	5 a 10 kΩcm	Velocidad de corrosión alto
	<5 kΩcm	Velocidad de corrosión muy alto

Fig. 7

4.6.4. Resistividad eléctrica

“La resistividad eléctrica del hormigón se define como la habilidad de resistir al traspaso de la electricidad, es el grado de dificultad que encuentran los electrones en su desplazamiento dentro de la masa del material, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es; por lo tanto la resistividad eléctrica es la característica inversa a la conductividad eléctrica.” [9].

La baja homogeneidad del hormigón puede provocar que esta técnica no arroje datos muy exactos, pero es cierto que la media que se obtiene es bastante realista. La resistividad del hormigón se ve afectada por muchos factores; tipo de cemento, relación agua/cemento, la hidratación de la fase de fraguado, saturación de los poros... Un hormigón de baja porosidad generará una mayor resistividad eléctrica, lo que se podría traducir en la durabilidad del elemento, o mejor dicho, en sus capacidades mecánicas.

La principal razón de la corrosión de las armaduras en las estructuras de hormigón viene dada por la penetración de cloruros. La resistividad eléctrica está estrechamente ligada a este concepto ya que, si la resistividad es elevada, se puede traducir como que el elemento tiene una baja porosidad y está mucho más protegido frente a agentes externos.

En el margen izquierdo de adjunta una tabla en la que se recogen una serie de valores estándares a partir de los cuales se podría considerar la clasificación de la corrosión en función a la resistividad eléctrica.

Finalmente se dará una serie de aplicaciones encontradas a través de esta revisión de la literatura de esta técnica de detección no destructiva sobre hormigón:

- Estimación de la probabilidad de corrosión
- Indicación de la velocidad de corrosión
- Correlación con la permeabilidad al cloruro
- Evaluación en el emplazamiento de la eficiencia de curado.

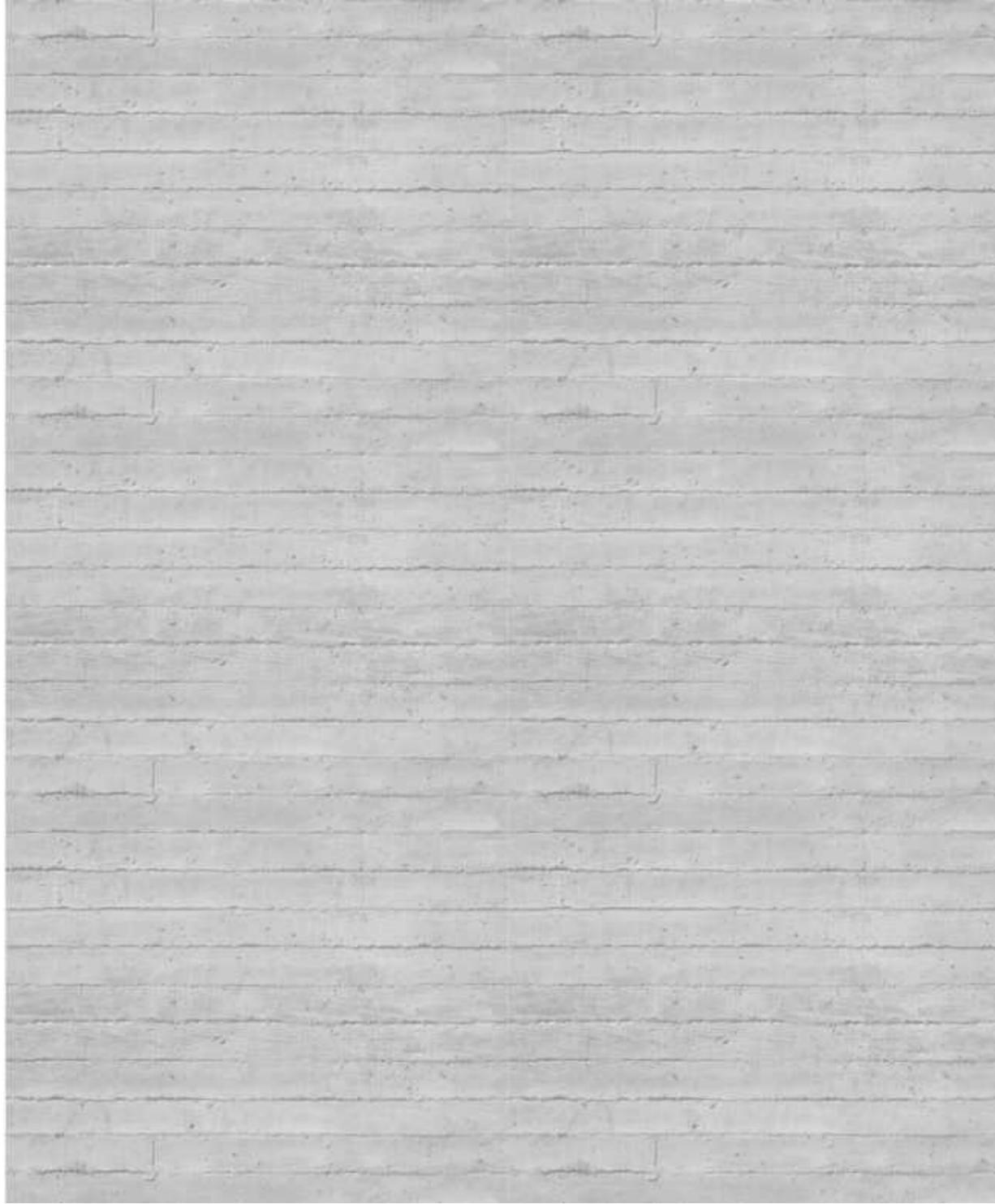
4.6.5. Pachómetro

El pachómetro es un instrumento que nos permite reconocer la localización de las barras de acero dentro del elemento de hormigón armado. No solo detecta la posición exacta, si no que es capaz de deducir el grosor de la propia barra y su distancia a la superficie del hormigón, es decir, su capa de recubrimiento.

Su aplicación como técnica no destructiva viene dada por la capacidad de detectar escasez de barras de acero desde su ejecución, escasez de grosor que puede producir falta de estabilidad del elemento o escasez de recubrimiento que puede derivarse en la introducción de cloruros en las armaduras.

Quizás esta técnica no es la más usada porque tiene pocas aplicaciones, pero indirectamente es muy importante ya que trabaja cooperativamente con otras técnicas para la detección de barras, grosores y recubrimientos. Por ejemplo en el ensayo de resistividad eléctrica es muy importante ubicar las sondas en zonas que no estén cercanas a barras de acero, ya que podría provocar diferencias en los resultados. Es por ello que un conocimiento previo de la ubicación de las barras es algo fundamental.

Cabe destacar que esta técnica también es muy común en las obras de rehabilitación, especialmente a la hora de realizar las nuevas instalaciones, ya que te permite generar nuevas instalaciones sin afectar a ninguna armadura y sin poner en peligro la estabilidad de la estructura.



4.7. Conclusiones

Para concluir este apartado de revisión de la literatura cabe decir que estamos frente a un claro punto de inflexión en las técnicas utilizadas para detectar lesiones en hormigón, pasando del uso extensivo de las técnicas destructivas al uso de las no destructivas. Esto se puede confirmar debido a que son numerosos los estudios realizados en la última década que abalan estos ensayos no destructivos. Los investigadores son conscientes de que queda un largo trayecto por recorrer dentro de los ensayos no destructivos, un camino donde presumiblemente se encontrará la forma más óptima de trabajo de las distintas técnicas, incluso en la cooperación de varias técnicas.

Cabe destacar igualmente que aún existen pocas normativas que contemplen estas técnicas y que además las que las contemplan no confían en que estos ensayos puedan dar resultados de calidad. Pero las investigaciones continúan y son muchos los avances que se han conseguido en la última década.



Fig. 8

5. Metodología

Una vez establecidos los objetivos que pretendemos obtener con el estudio y conocer la revisión de la literatura que hemos descrito anteriormente, se pretende establecer un punto de partida a partir del cual se pueda llevar a cabo la experimentación de las técnicas no destructivas respetuosas con la estabilidad estructural y la integridad de los elementos de hormigón visto.

Para este trabajo se proponía el análisis de las técnicas no destructivas sobre elementos de hormigón, especialmente la termografía. Aunque la experimentación no se ha podido llevar a cabo con motivo de la alerta sanitaria que vivimos y que irrumpió en nuestro país a mitad del cuatrimestre, se ha decidido incorporar todo el proceso de diseño y fabricación de las probetas ya que el mismo ha tomado 5 semanas de trabajo y además, una vez se recupere la normalidad, se pretende realizar los ensayos para concluir el trabajo de experimentación y obtener los resultados para su posterior discusión.

5.1. Diseño del experimento

Para la realización del experimento se toma como punto de partida el interés por la simulación de las condiciones a las que los elementos de hormigón están expuestos, siendo estas las principales causas por las cuales se producen las principales lesiones. Es por ello que se decide realizar 5 ensayos sobre 15 probetas. El primero de ellos sería el ensayo sobre blanco (B1, B2 y B3), es decir, sobre tres muestras sin alterar sus condiciones para establecer los puntos de partida para la realización del resto de ensayos. En segundo lugar se realizarían los siguientes ensayos:

1. 3 Probetas expuestas a fuego (F1, F2 y F3).
2. 3 Probetas expuestas a ataques químicos (Q1, Q2 y Q3).
3. 3 Probetas expuestas a corrosión (C1, C2 y C3).
4. 3 Probetas expuestas a electricidad (X1, X2 y X3)

Entre paréntesis se indica la nomenclatura utilizada en las probetas para su reconocimiento.

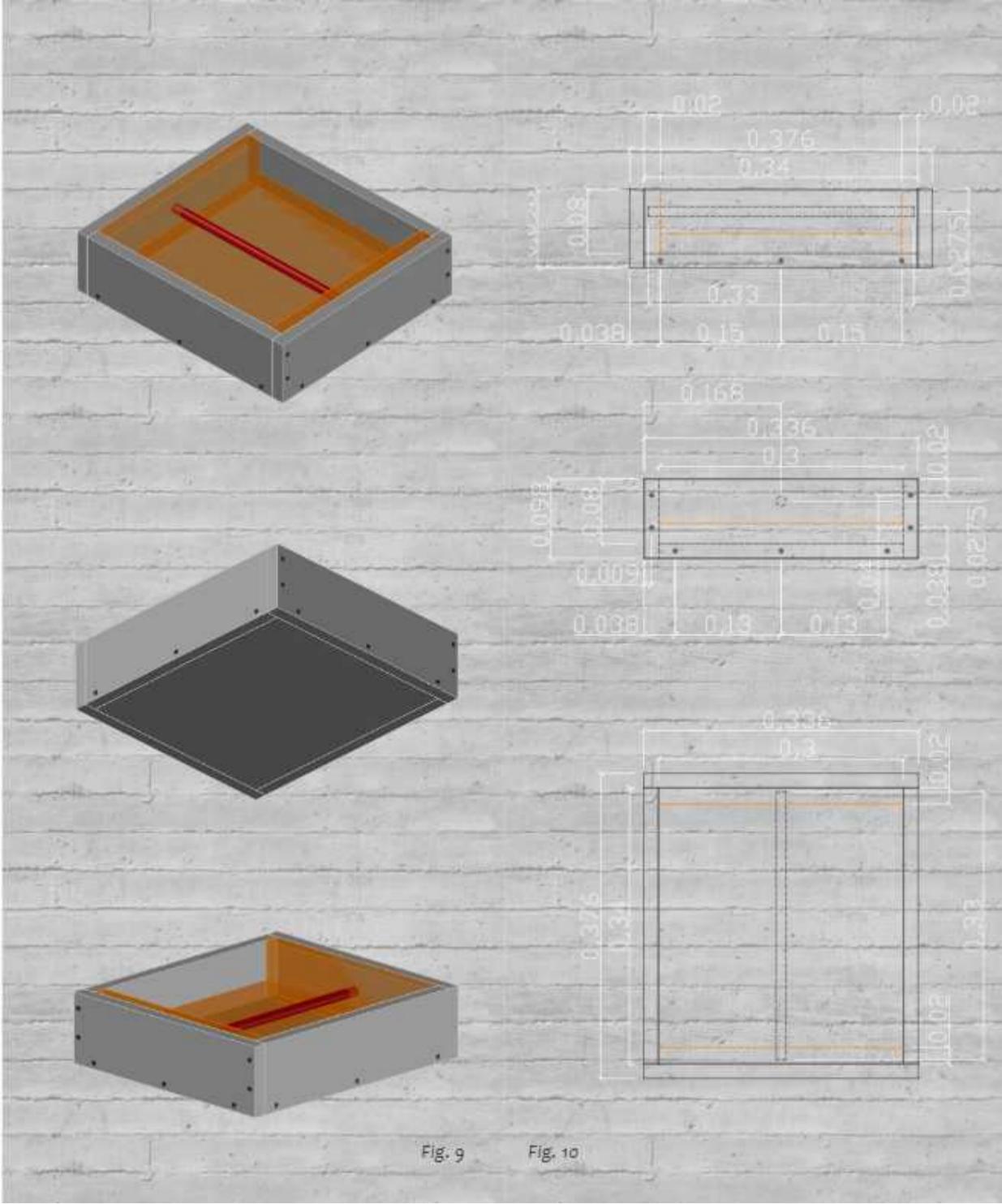


Fig. 9

Fig. 10

La realización de todos los ensayos se harán sobre 3 probetas para obtener resultados mucho más contrastados y poder determinar el grado de afección de cada uno de los ensayos sobre las muestras, tratando de homogeneizar los posibles problemas que hayan podido generarse en la fase de hormigonado y vibrado.

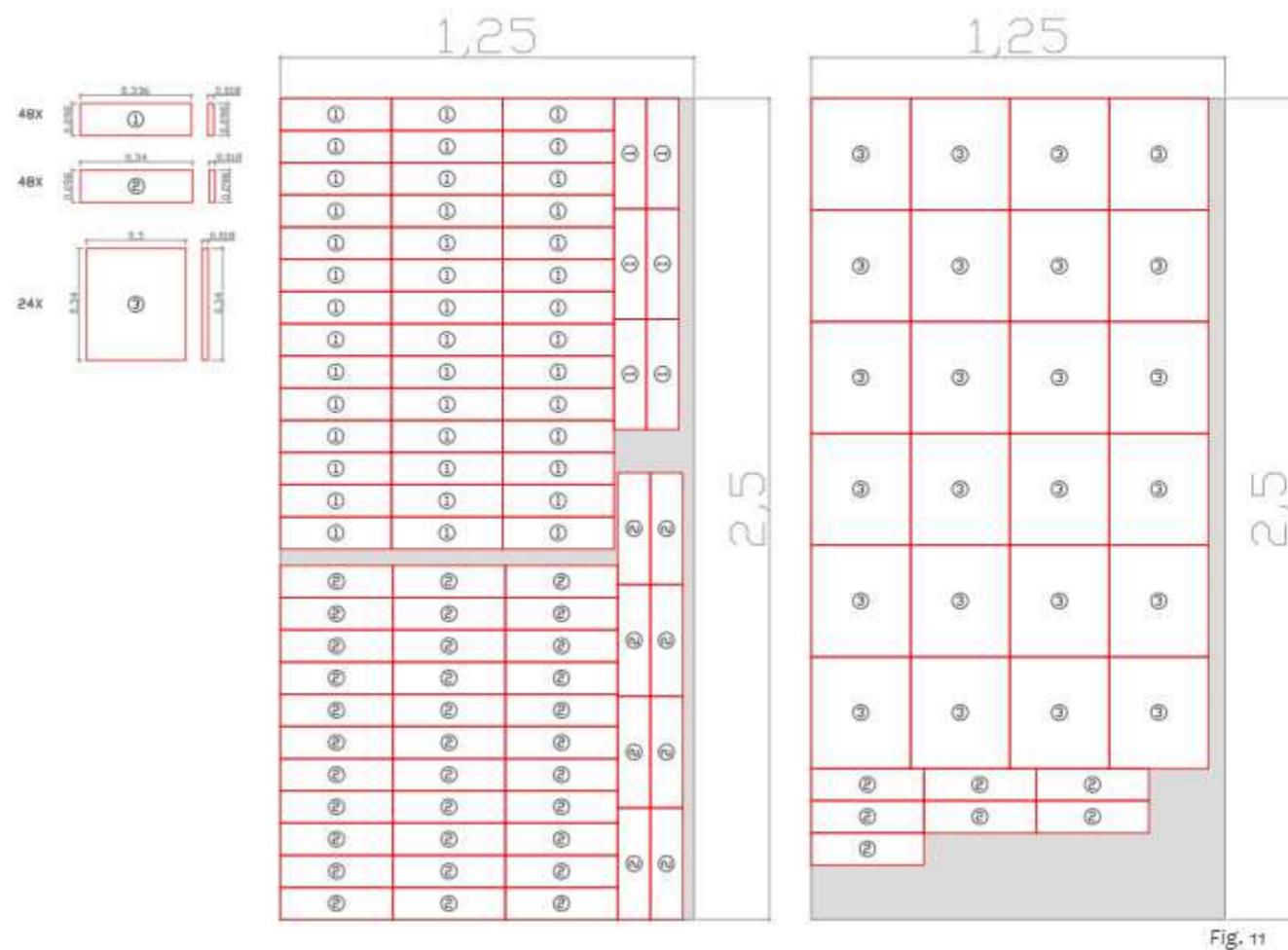
Los ensayos anteriormente descritos tienen como finalidad la simulación de agentes reales que afectan a los elementos de hormigón para el posterior análisis con técnicas no destructivas para la detección de lesiones en elementos de hormigón armado.

Las muestras serán iguales y tendrán un tamaño de 30cm x 30cm. Las mismas tendrán en el centro una barra de acero corrugado B500s de 31cm que sobresale de las propias muestras para realizar ensayos sobre la armadura del elemento. Igualmente cabe destacar que las probetas se han diseñado para ser ejecutadas sobre encofrados de madera OBS de 18mm. Las probetas contarán con placas de poliestireno expandido (EPS) que, además de facilitar el desencofrado, sirve de sujeción para las armaduras en el momento previo al hormigonado.

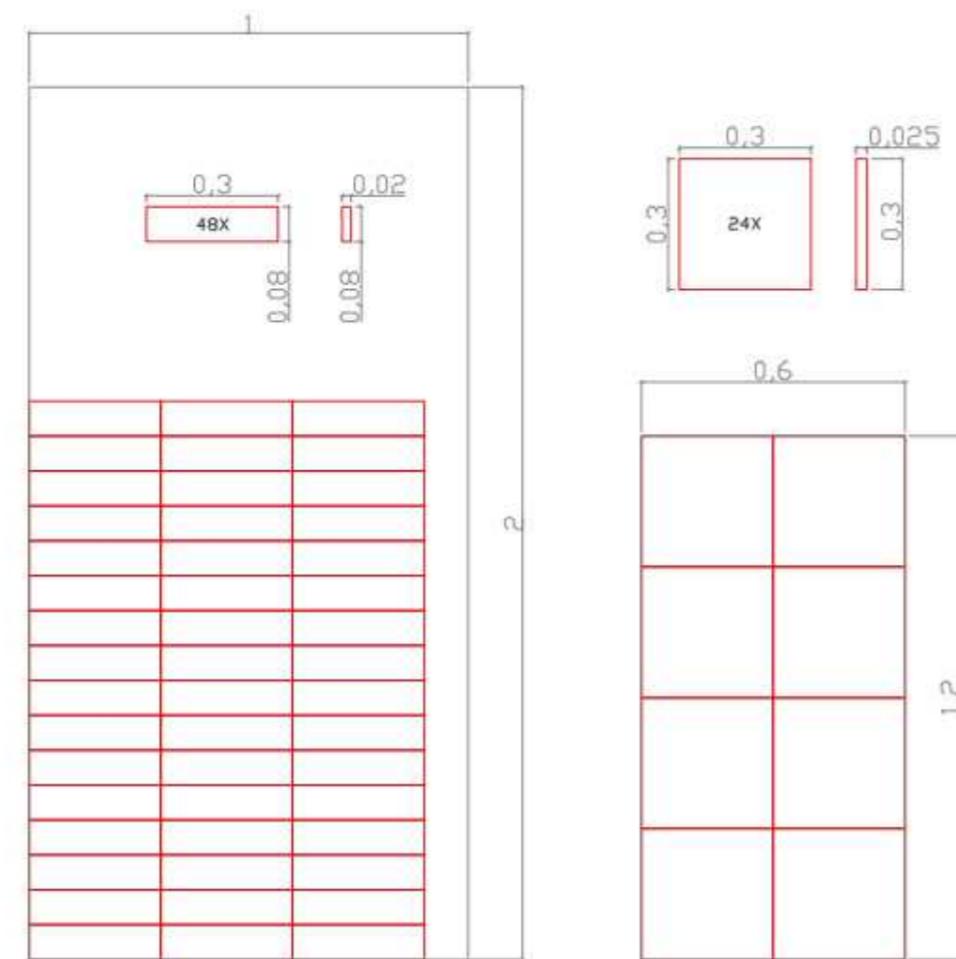
Continuando con el diseño del experimento se ha realizado un análisis de los materiales que vamos a necesitar para el proceso de fabricación de las diferentes probetas. Para comenzar se ha realizado una búsqueda de los posibles proveedores de materiales. Para facilitar el trabajo de montaje nos hemos decantado por la opción de comprar los elementos ya cortados, principalmente los más difíciles de manipular; maderas y acero. A continuación se muestra detalladamente los cálculos realizados y la estimación de materiales que hicimos previamente a la fabricación de las probetas.

En primer lugar cabe aclarar que, tanto el diseño del experimento como la propia fabricación, se ha hecho conjuntamente con otro compañero del grupo Ñ; Armando Hermida Medina.

Primeramente hemos calculado la superficie total de tableros OSB de 18mm que necesitamos. Dado que el proveedor elegido distribuye los tableros en medidas de 250x125 cm, hemos deducido del cálculo que necesitaremos 2 tableros completos, a los que posteriormente se les ha señalado las líneas de corte para que el suministrador ejecute los mismo. A continuación se muestra el análisis realizado:



A continuación se realiza el mismo análisis con la cantidad de Poliestireno expandido (EPS) necesario para la fabricación de probetas, en este caso hemos utilizado planchas de 2 grosores y tamaños distintos. En primer lugar se ha realizado el despiece en una plancha de 20mm de grosor para las caras en las que penetra la barra de acero, y posteriormente se ha seguido la misma metodología para realizar el despiece de 3 planchas de este mismo material para el fondo de las probetas, en este caso de 25mm:



A continuación se ha calculado la cantidad de barras de acero necesarias, en este caso hemos necesitado 24 barras de $\varnothing 12\text{mm}$ de 32cm de longitud, las mismas fueron cortadas por el fabricante. Seguidamente se procedió a calcular los tornillos necesarios para el montaje de las probetas, obteniendo como resultado la cantidad de 480 unidades de tornillos de acero para madera de 35mm. De la misma manera se calculó la cantidad de silicona necesaria para el sellado de las juntas, tomando como referencia un consumo de 280 ml de silicona por cada 5 metros, lo que nos lleva a una cantidad de 6 botes de silicona de 280ml para cubrir todas las juntas. Para finalizar se calculó el volumen de hormigón necesario para el relleno de las probetas, obteniendo como resultado 0.0072 m^3 . El hormigón que hemos utilizado es un hormigón predosificado H-25. Para concluir señalar que también fue necesario el uso de desencofrante.

5.2. Fabricación de probetas

La propia fabricación de las probetas se realizaron en laboratorio. Una vez realizado el acopio de materiales procedimos al ensamblaje de las probetas. En primer lugar se realizó una comprobación y clasificación de los materiales cortados suministrados por el proveedor, seguidamente procedimos al ensamblaje de las probetas utilizando los tornillos para afianzar las uniones. Una vez concluido el ensamblaje procedimos a forrar las caras interiores (excepto las caras paralelas a la barra de acero) de poliestireno expandido (EPS) el cual previamente fue cortado en laboratorio. Para finalizar se realizó el sellado de juntas y el fijado de la barra de acero al poliestireno expandido (EPS).

La fabricación de las probetas continuó con la fase de hormigonado. Previamente a esto tuvimos que hacer los pertinentes trámites administrativos para que esta fase se ejecutara en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación ya que esa Facultad, perteneciente a la propia Universidad de Sevilla, contaba con una hormigonera y con suficiente espacio planteado para tal fin, lo que provocó una reducción considerable de la fase de hormigonado.

En primer lugar, en el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA se aplicó una capa



generosa de desencofrante a todos los moldes que iban a ser rellenos de hormigón. Posteriormente estas probetas se trasladaron hasta el lugar de vertido.

Para la realización del hormigón se siguieron estrictamente las indicaciones dadas por el fabricante; por cada saco de hormigón se vertió 2,5L de agua en la hormigonera, obteniendo así HA-25/B/12/IIa. Seguidamente se procedió al vertido sobre las probetas para a continuación introducir las mismas en la mesa vibradora, desplazada desde el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA, durante 5 minutos. Una vez hormigonadas todas las muestras se dejaron fraguar en el punto de vertido durante 24h. y pasado este tiempo las muestras fueron trasladadas a laboratorio donde permanecieron los 21 días de fraguado.

A través del siguiente código QR podrá ser visualizado un vídeo de la fase de hormigonado:



Transcurrido el tiempo de fraguado se procedió al desencofrado de las probetas, realizando el proceso inverso al de ensamblado. Igualmente se procedió al marcado de las pruebas, pasando el código de identificación de la probeta a la pieza de hormigón.



**6. Ejemplos del
Movimiento Moderno**

Fig. 23

6.1. Criterios de elección

Para la elección de los siguientes edificios se han escogido una serie de criterios que creo convenientes exponer para clarificar la elección de los mismos.

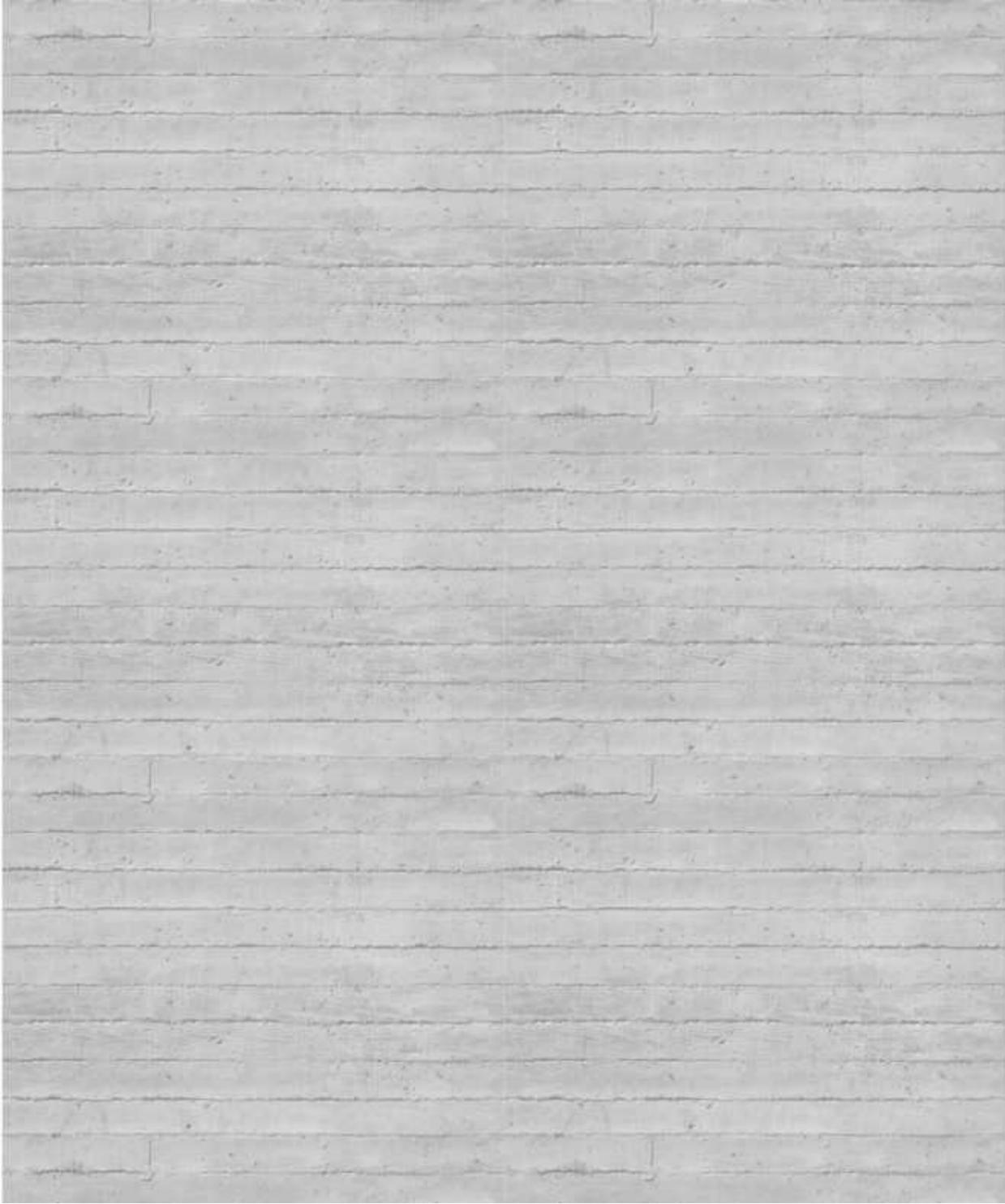
En primer se han buscado edificios de arquitectos del Movimiento Moderno o que tengan o hayan tenido una estrecha relación con rasgos del propio Racionalismo. De igual modo se han escogidos edificios que se hayan construido desde los años 40 hasta la finalización del siglo XX, edificios que cuentan ya con cierta edad y que podemos ver como ha evolucionado en el tiempo.

Otro criterio importante es que todos los edificios juegan con el hormigón visto como elemento predominante, igualmente a esta criba se añaden todos los edificios que se muestran con hormigón pintado, ya que a través de esa capa de pintura podría verse igualmente el estado de conservación del material. Se han rechazado todos los edificios que contaban con aplacados u otros materiales de acabado que ocultaran las posibles lesiones o el propio paso del tiempo sobre los elementos de hormigón.

Otro de los criterios decisivos es que deben localizarse en diferentes partes del mundo para poder apreciar como se han conservado estos edificios hasta nuestros días en función de la climatología y las condiciones adversas que se hayan podido dar a lo largo de la vida de estos edificios en sus localizaciones.

El último criterio que ha servido para cribar estos edificios lo ha constituido la propia singularidad del edificio. En este caso se buscaban edificios que tuvieran cierto simbolismo y que en parte sean un icono para la arquitectura o que simplemente estén expuestos a agentes naturales constantemente como es el caso de las Piscinas de Álvaro Siza en Oporto, Portugal.

A continuación se ha realizado una tabla donde se clasifican los diferentes edificios que vamos a ver en las siguientes diapositivas y en el que se incluye la información mas relevante; Edificio, Autor, año de construcción, localización y singularidad.



Edificio	Autor	Construcción	Rehabilitación	Localización	Singularidad
Unidad Habitacional de Marsella	Le Corbusier	1946	X	Marsella, Francia	Uso extensivo del hormigón
Parlamento de Chandigarh	Le Corbusier	1951	X	Chandigarh, India	Uso extensivo del hormigón
Palacio de deportes de Roma	Pier Luigi Nervi	1956	X	Roma, Italia	Cúpula de grandes dimensiones
Museo Guggenheim	Frank Lloyd Wright	1956	2006	New York, Estados Unidos	Forma helicoidal
Terminal de la TWA	Eero Saarinen	1956	2005	New York, Estados Unidos	Cubierta de grandes dimensiones
Instituto Salk de Estudios Biológicos	Louis I. Kahn	1959	X	California, Estados Unidos	Encofrado minucioso
Catedral de Brasilia	Oscar Niemeyer	1959	X	Brasilia, Brasil	Simbología constructiva
Catedral de Santa María en Tokio	Kenzo Tange	1961	X	Tokio, Japón	Simbología constructiva
Torres blancas	Sáenz de Oiza	1964	X	Madrid, España	Formas orgánicas
Piscinas en Leça de Palmeira	Álvaro Siza	1966	X	Leça da Palmeira, Portugal	Exposición marina
Pabellón de Portugal Expo'98	Álvaro Siza	1995	X	Lisboa, Portugal	Marquesina de hormigón

Fig. 24



Unidad Habitacional de Marsella

Le Corbusier

Año de construcción
1946-1952

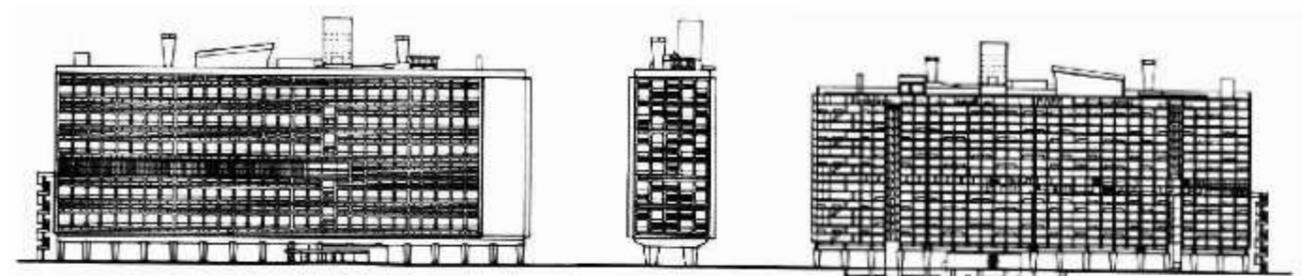
Localización
Marsella, Francia

Uso del edificio
Residencial

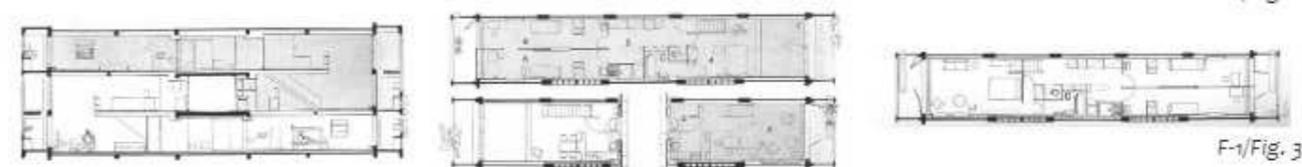
Singularidad
Uso extensivo del hormigón



Planimetría



F-1/Fig. 2



F-1/Fig. 3

Introducción

Este edificio constituye el primer encargo de las autoridades francesas a Le Corbusier, un edificio sin precedentes dentro de su arquitectura y que en la actualidad sirve de referente para todos los arquitectos ya que es un edificio icónico en la arquitectura de Le Corbusier. La unidad habitacional de Marsella comienza a diseñarse justo después de la Segunda Guerra Mundial, igualmente hubo problemas presupuestarios que derivaron en el atraso de su construcción, pasando de 12 meses a los 5 años que duró la ejecución finalmente.

Le Corbusier renuncia en este proyecto a lo que él mismo llamaba «manía de las casas unifamiliares», planteando un edificio de vivienda colectiva que se eleva en rascacielos, completando así su objetivo y adhiriendo la construcción a un espacio verde que sea suficientemente amplio para la población del edificio. Según Le Corbusier, ese era el modelo que debería prevalecer en el diseño de la ciudad, una ciudad que aproveche los recursos y se eleve en altura para evitar movimientos.



F-1/Fig. 4

F-1/Fig. 5

F-1/Fig. 7

F-1/Fig. 6

F-1/Fig. 8

Concepto

El proyecto se presentaba como una opción innovadora de integración, que proponía diversos usos dentro del mismo edificio confiriendo a este de gran autonomía y relacionándolo estrechamente con las zonas verdes de esparcimiento del edificio. Le Corbusier, ya en los años veinte, comienza a preocuparse por un urbanismo autosuficiente y por los fenómenos urbanos de distribución y circulación que empezaban a repercutir en la sociedad moderna.

Concretamente este edificio le es encargado a Le Corbusier para realojar a todas las personas que tras la guerra han perdido sus viviendas de los barrios de la ciudad. Logrando integrar un barrio completo, en su mayoría, dentro de un edificio plurifamiliar.

Materiales y construcción

Toda la construcción se lleva a cabo con elemento de hormigón armado y vidrios. Debido a la economía que existía en los tiempos de postguerra, el edificio se alzó con materiales básicos y de gran duración. Igualmente, las marquesinas del edificio y los parasoles son del mismo material.

Dada la preocupación de Le Corbusier por ocupar la mayor superficie posible de jardín en planta baja, este diseña una estructura muy especial y llamativa que produce que en planta baja se eleve una estructura de hormigón sobre dos líneas de pilares. Esto se realizó para que en el exterior existiera una gran permeabilidad de los espacios, sirviendo al edificio solo como acceso a las comunicaciones verticales.

El resto del edificio se eleva sobre una estructura, igualmente de hormigón, pero con un mayor número de pilares que en la base y con una distribución que facilitó la distribución de los espacios interiores.



Parlamento de Chandigarh

Le Corbusier

Año de construcción
1951-1965

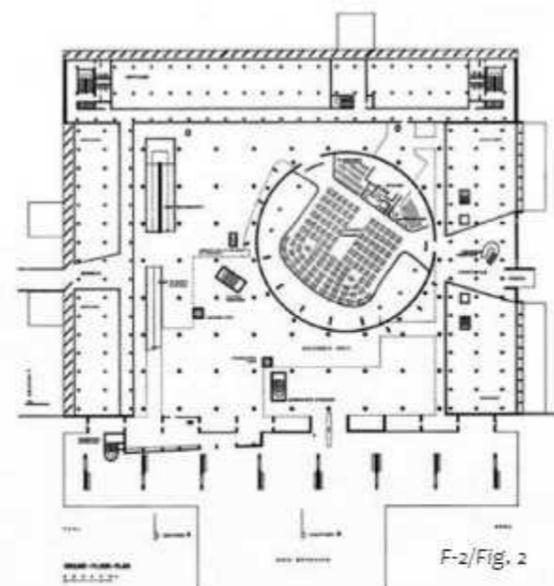
Localización
Punjab-Haryane, Chandigarh, India

Uso del edificio
Equipamiento, administrativo

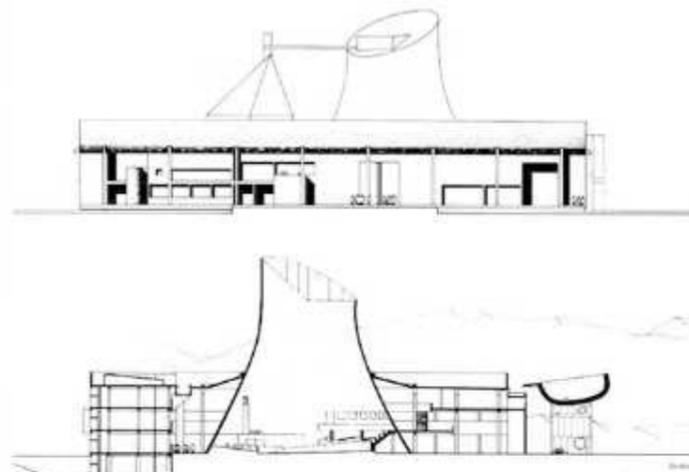
Singularidad
Uso extensivo del hormigón



Planimetría



F-2/Fig. 2



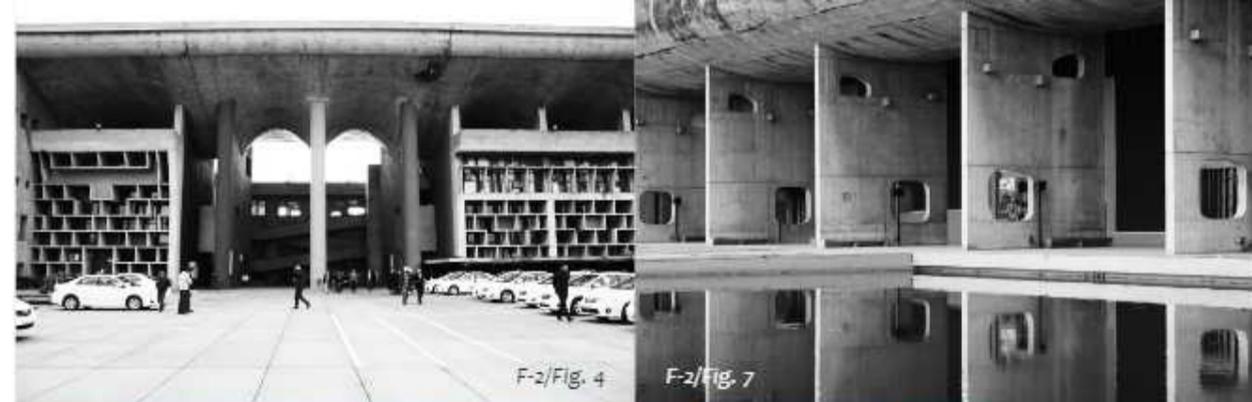
F-2/Fig. 3

Introducción

Chandigarh fue el único proyecto urbano ejecutado por Le Corbusier, este planeamiento, que se encuentra en la India, lo realizó alejándose de las referencias que podía obtener en la vecina provincia de Rajasthan. La ciudad planificada por Le Corbusier cuenta con edificaciones modernas, jardines, plazas y calles anchas. Desde 1951 hasta su muerte en 1965, Le Corbusier volcó todo su empeño en este proyecto urbano, dejando un gran legado de la arquitectura moderna.

La ciudad de Chandigarh fue iniciada por Albert Mayer y Matthew Nowicki, replanteada por Le Corbusier y, finalmente, proyectada y realizada en detalle por Pierre Jeanneret, Jane Drew y Maxwell Fry.

Durante la planificación de este proyecto urbano, Le Corbusier se reservó la construcción del centro político y simbólico del poder, el Palacio de la Asamblea. Un edificio céntrico en cuanto a la planificación que terminaría el centro administrativo de la ciudad.



F-2/Fig. 4



F-2/Fig. 7



F-2/Fig. 5

F-2/Fig. 8



F-2/Fig. 6



F-2/Fig. 9

Concepto

El edificio se sitúa en el sureste del complejo gubernamental, fue el primer edificio en construirse. Es un edificio que en planta se organiza en dos bloques; la sede de la Corte Suprema y 8 salas de audiencias y despachos. Todo ello bajo una gran cubierta de 1,4 metros de grosor.

La sede la Corte Suprema se organiza en un bloque con forma de L, protegiéndose del sol mediante una cubierta de hormigón armado que hace las funciones de parasol a la vez que sirve de marquesina principal del edificio. Este elemento es utilizado por Le Corbusier para rememorar las cubiertas de los havelis en la arquitectura mogol. Este espacio, de gran altura, favorece la correcta ventilación del edificio en verano y sirve como protección frente a las lluvias de invierno.

La fachada principal del edificio se relaciona con una plaza delantera que sirve de antesala de todo el conjunto y donde se lleva a cabo el control de acceso. En el lado opuesto se enfrenta a una gran explanada. Para esta relación Le Corbusier utiliza 3 grandes placas de hormigón pintado que contrastan intensamente con el resto.

Materiales y construcción

Le Corbusier en primera instancia tenía la idea de utilizar el ladrillo como material de construcción para este edificio, sin embargo, finalmente se decantó por el hormigón. El uso de este material podría venir dado por la economía precaria que presentaba el país después de salir del trauma del colonialismo.

Durante la ejecución de los elementos de hormigón, se necesitaron ingentes cantidades de madera para encofrar, en este aspecto los cálculos se quedaron cortos y hubo que solucionarlo con encofrados de metal, lo que provocó una textura diferente que Le Corbusier la describe como; «una puerta mágica para la moderna arquitectura,» y revela «el accesible esplendor de hormigón reforzado».



Palacio de deportes de Roma

Pier Luigi Nervi

Año de construcción
1956-1957

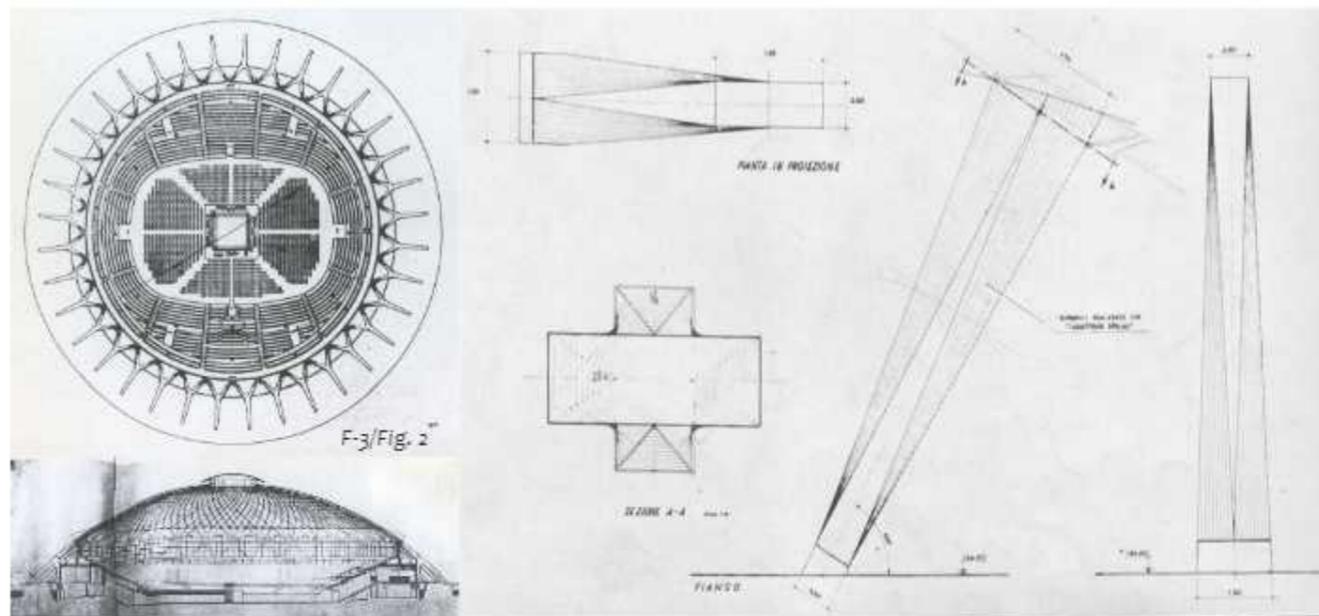
Localización
Roma, Italia

Uso del edificio
Equipamiento, deportivo

Singularidad
Cúpula de grandes dimensiones



Planimetría

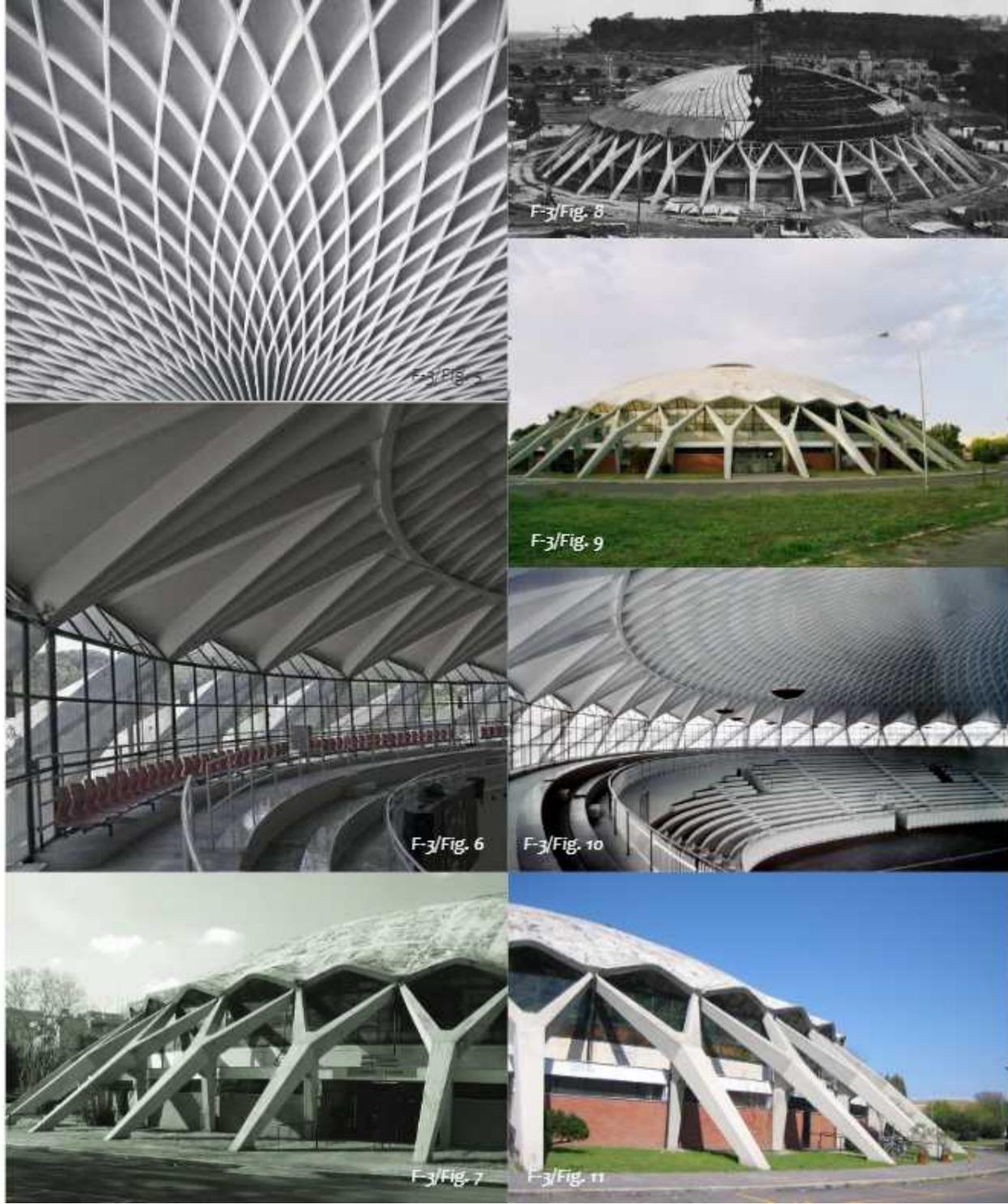


Introducción

Pier Luigi Nervi realizó este edificio ya que sería uno de los encargados de acoger los juegos olímpicos de 1960.

Se trata de un edificio completamente redondo y simétrico a todos los ejes. Su cubierta a modo de casquete se apoya mediante nervaduras sobre pilares en Y que funcionan como elemento transparente para dejar pasar la luz. El palacio es un modelo de estadio capaz de albergar 5.000 espectadores en boxeo y lucha y hasta 4.000 en tenis, baloncesto y gimnasia. En el perímetro exterior se encuentran todas las dependencias necesarias para el correcto funcionamiento del edificio. En este caso las instalaciones se albergan en la planta sótano.

Es un edificio multifuncional pensado para acoger la celebración de muchas modalidades de juegos.



Concepto

Cabe mencionar que el Arquitecto Piere Luigi Nervi también era ingeniero, lo que le confería gran conocimiento sobre las estructuras y donde él buscaba la economía, la rapidez de ejecución y la eficiencia. Igualmente cabe destacar que en esta obra se ejecutaron múltiples elementos con piezas prefabricadas, por la evidente ventaja de la perfección ejecutiva.

Luigi Nervi quería dar al espacio interior un sesgo totalmente distinto al exterior, lo consiguió gracias a sus amplios conocimientos sobre estructuras, creando en el interior un entramado de nervaduras que hacen que la textura sea agradable y que diálogo con el hormigón armado que se utiliza en su graderío.

Materiales y construcción

El edificio está cubierto por un casquete esférico de 69,20 metros de diámetro y está constituida por 1620 secciones prefabricadas de hormigón armado. La cúpula se sostiene mediante caballetes en forma de "Y" dispuestos de forma radial e inclinados. Todas las cargas son transmitidas a un anillo de hormigón de 2,50 metros de ancho por 81,50 metros de diámetro.

En el caso de la gran cúpula se utiliza una losa de hormigón de 12cm de grosor. Realizándose esta con elementos prefabricados dispuestos sobre una malla y coronando la misma con un gran tragaluz que corona la cúpula.

La iluminación natural se realiza con un anillo de compresión en el centro que permite ubicar una linterna. Igualmente, la luz natural penetra dentro del edificio a través de la fachada exterior, que la conforman grandes ventanales verticales que se separan del casquete pasando la cúpula en este punto a ser transparente y a apoyarse sobre los grandes pilares inclinados.



Museo Guggenheim

Frank Lloyd Wright

Año de construcción
1956-1959

Reformado
2006-2008

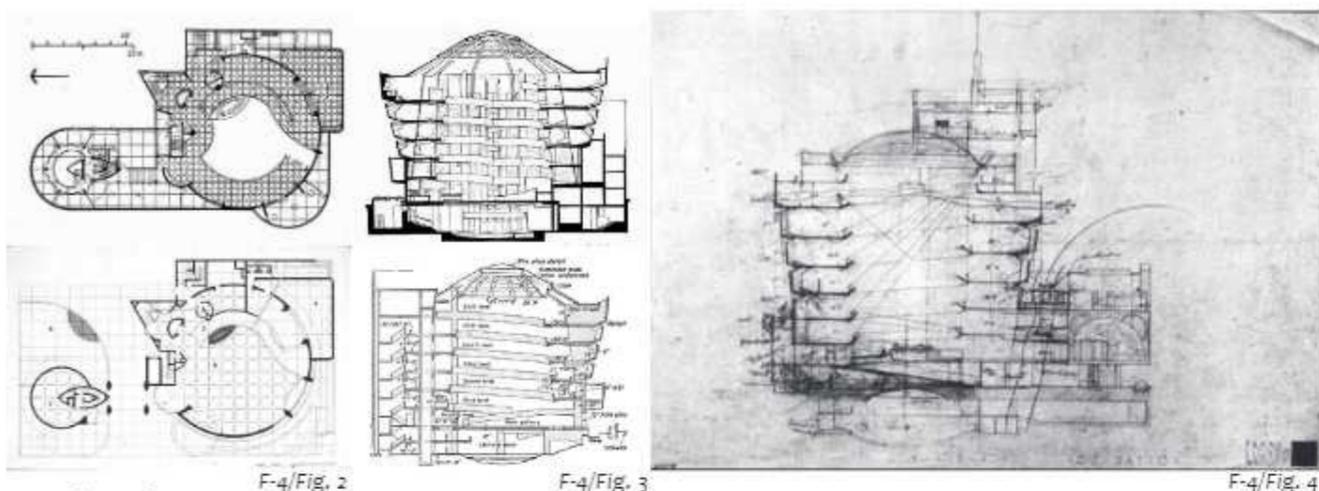
Localización
New York, Estados Unidos

Uso del edificio
Equipamiento, cultural

Singularidad
Forma helicoidal



Planimetría

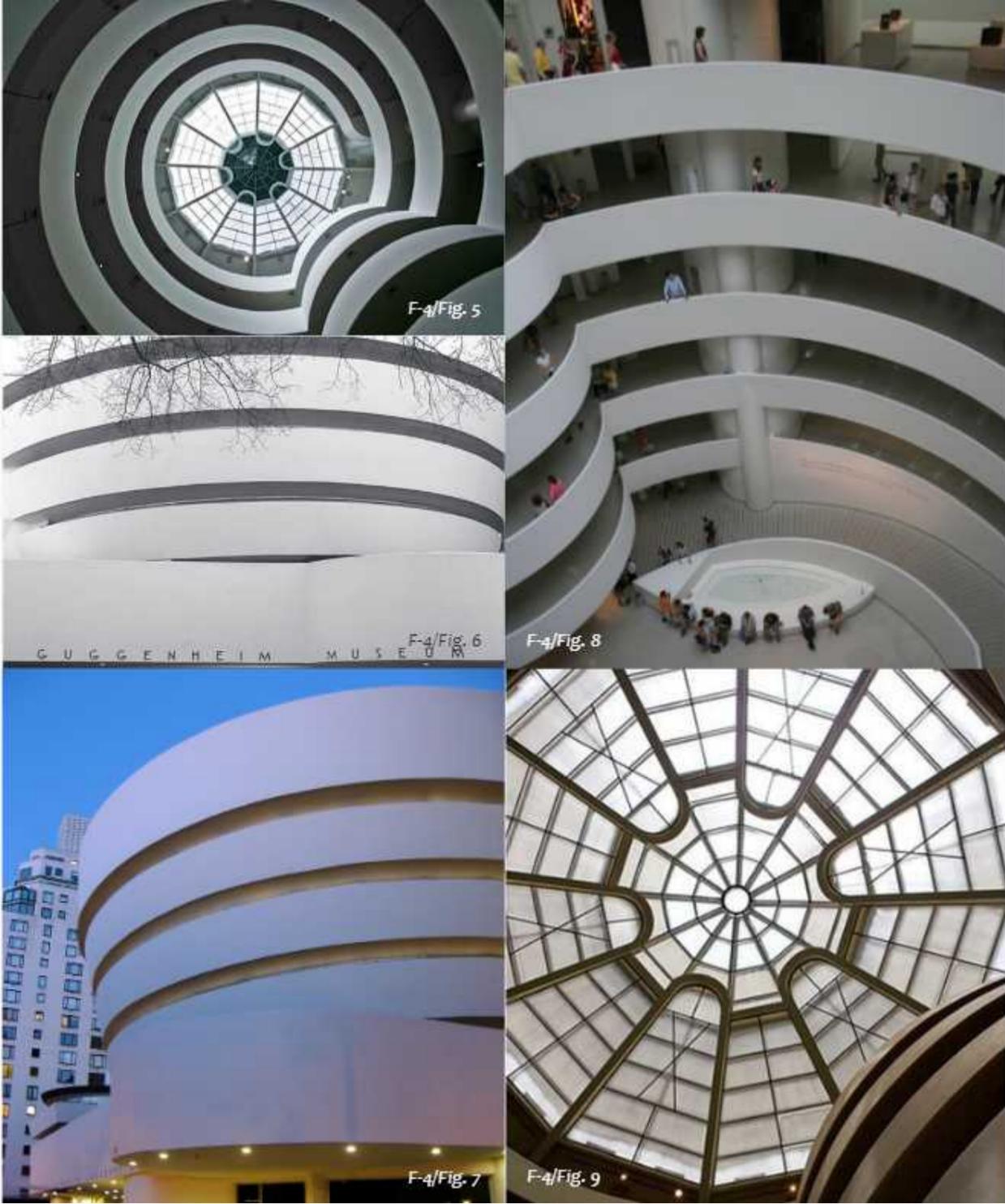


Introducción

El museo Guggenheim de Nueva York es el primero de los museos fundados por Solomon R. Guggenheim, dedicado al arte moderno. Este edificio fue inaugurado en 1937. Este edificio es conocido popularmente como “Guggenheim” ya que es el más conocido de los museos de la fundación.

En el año 1959 se cambió la ubicación del museo, y fue en ese nuevo emplazamiento donde se construyó el edificio de Fran Lloyd Wright. Solomon no sabía a quien elegir como arquitecto para el museo, por lo que pidió a la baronesa Hilla von Rebay que escogiera a alguien. Ella eligió a Wright porque era el arquitecto más famoso del momento.

El nuevo edificio se vio envuelto en mucha polémica entre el arquitecto, el cliente y la propia sociedad. Incluso, durante su ejecución, recibieron una carta firmada por numerosos artistas argumentando que la forma del edificio no era la adecuada para exponer obras de arte ni se ajustaba a la trama urbana de Nueva York. Contra todo pronostico las obras siguieron su curso y Guggenheim quedó entusiasmado por la idea de espiral ascendente del proyecto.



Concepto

El edificio, a pesar de su gran polémica, pronto se convirtió en una obra de arte. Desde la calle se apreciaba la forma helicoidal ascendente levemente más ancha en su parte superior. En el interior se exponen las obras de arte en una galería ascendente con entradas de luz perfectamente controladas, donde el visitante va ascendiendo poco a poco a la vez que contempla las pinturas.

Con este diseño Wright intentó que el visitante usara el ascensor que lo llevaría hasta la cota más superior y desde ella ir bajando en una galería que lo llevara nuevamente hasta la cota 0. Y en cualquier caso, si el visitante quería volver a visualizar la galería podría volver a retroceder o incluso volver a tomar el ascensor en cualquier nivel y empezar de nuevo.

Con la leve inclinación de los muros, el arquitecto pretendía facilitar la visión de las pinturas y controlar la luz natural que entra por las galerías, de tal manera que hiciera más fácil su visualización.

Materiales y construcción

La envolvente principal está formada por elementos de hormigón armado y vidrio. Estos elementos de hormigón armado se ejecutaron con cierta complejidad, pues, los encofrados eran únicos en cada uno de sus puntos, lo que complicaba el vertido de hormigón y la colocación de las barras de acero.

En total se utilizaron 3 tipos de hormigón para distintas fases del proyecto; hormigón armado aligerado con “Lelite” para la superestructura principal, hormigón armado aligerado para los forjados y la rampa y hormigón con grava para la carcasa exterior.

Los forjados del museo presentan vuelos de hasta 8 metros y luces de hasta 30 metros, lo que hizo desarrollar nuevos métodos constructivos en esa época. Cabe destacar que originalmente, en proyecto, la cúpula era más amplia y ligera. Pero las autoridades no confiaban en la resistencia de esa cúpula y obligó al arquitecto a incorporar vigas de hormigón armado a su estructura.



**Terminal
de la TWA,
Aeropuerto John
F. Kennedy**

Eero Saarinen

Año de construcción
1956 - 1962

Reformado
2005-2008

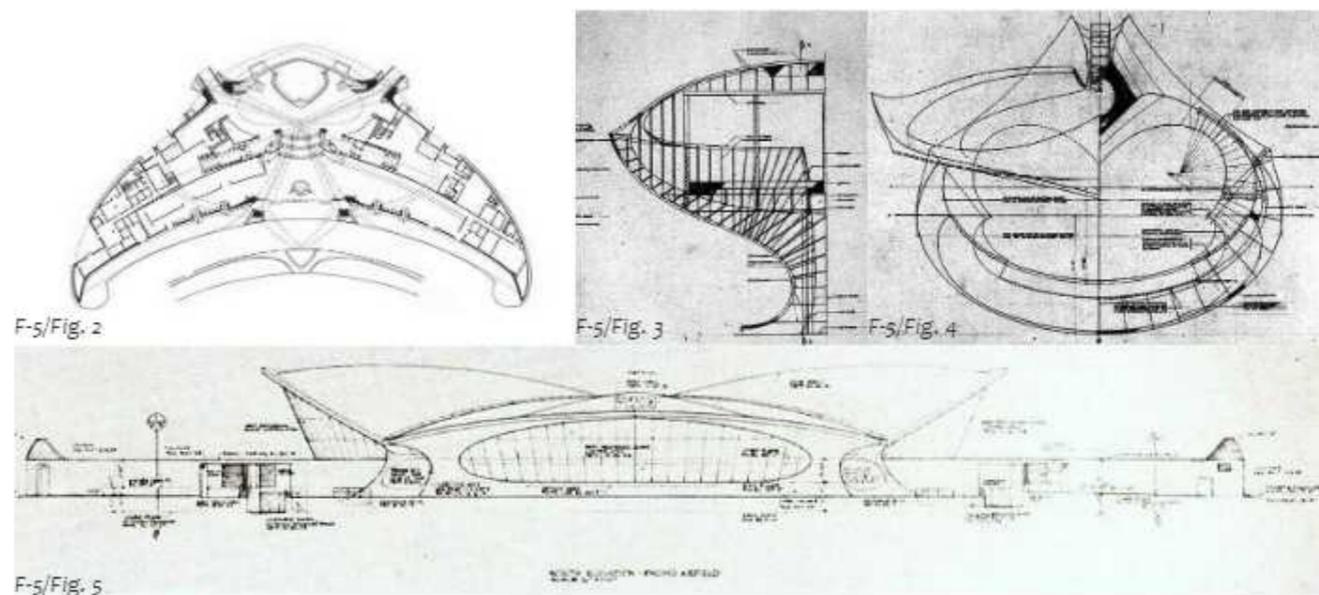
Localización
New York, Estados Unidos

Uso del edificio
Equipamiento

Singularidad
Cubierta de grandes dimensiones



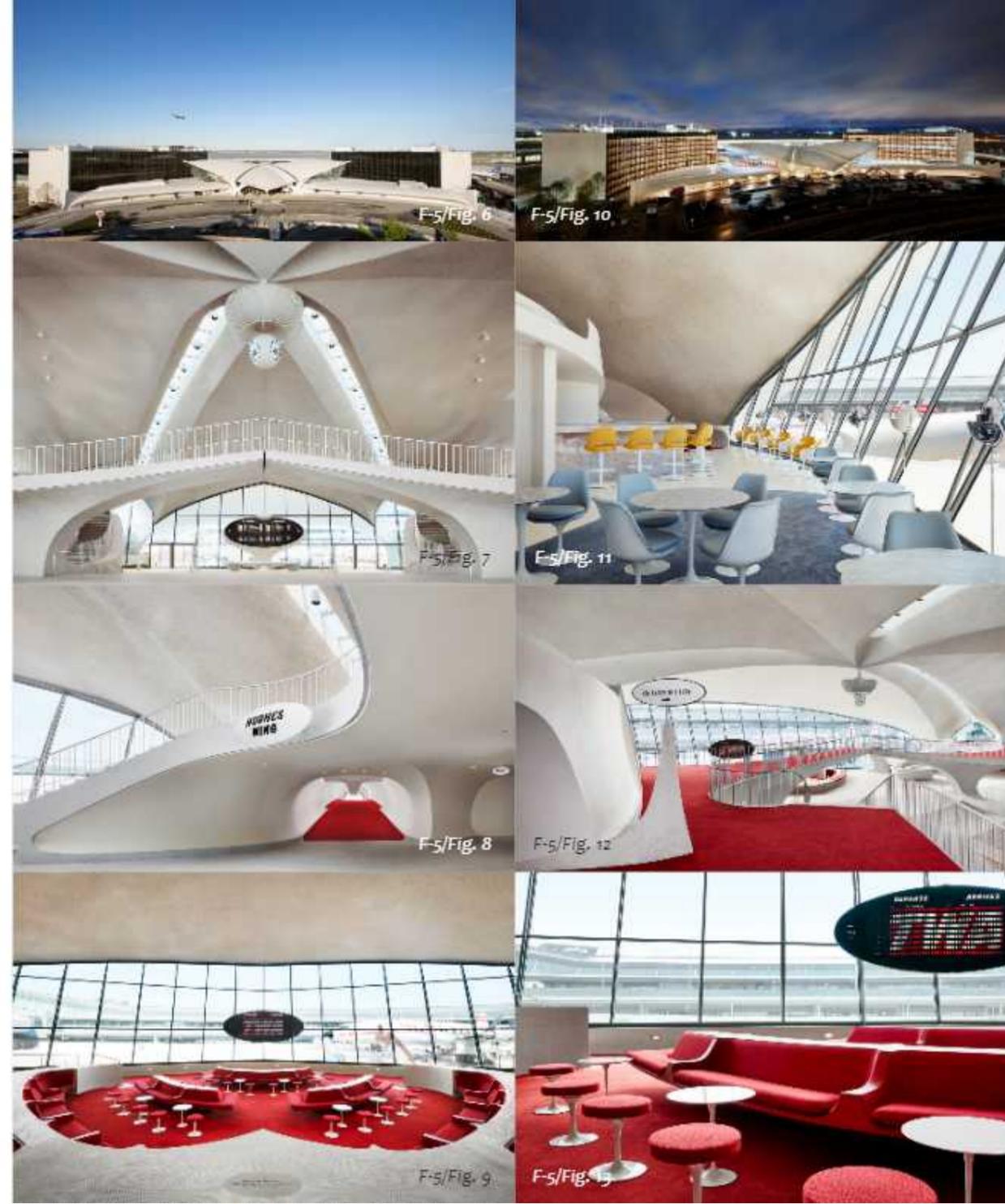
Planimetría



Introducción

Centro de Vuelos TWA (TWA Flight Center), fue el nombre original para el diseño que Eero Saarinen realizó en la Terminal 5 del aeropuerto Idlewild, más tarde renombrado como Aeropuerto Internacional John F. Kennedy, para la compañía Trans World Airlines.

La adjudicación del diseño fue otorgada a la sucursal de Eero Saarinen & Associates de Detroit, convirtiéndose en el edificio más famoso del aeropuerto, además de un Monumento Histórico Nacional. En sus instalaciones se filmó la película de Steven Spielberg "Atrápame si puedes". Saarinen murió en 1961, un año antes de que el edificio fuese terminado.



Concepto

«... un edificio en el que la propia arquitectura expresara el drama, el carácter especial y la emoción de los viajes ... un lugar de movimiento y transición ... Las formas fueron elegidas deliberadamente para hacer hincapié en un creciente aumento de la calidad de la línea. Queríamos un levantamiento» Eero Saarinen.

La terminal se levanta como símbolo del aeropuerto internacional John F. Kennedy, un edificio que busca la simbología de vuelo en su estructura, creando una gran cubierta de hormigón armado con grandes cristalerías que muestran las vistas propias de cualquier aeropuerto. Igualmente, en este edificio se busca la simetría de las formas, concluyendo en un elemento simétrico en su eje transversal al igual que los propios aviones. Su diseño busca el movimiento, la fluidez y la sencillez de la forma.

El arquitecto hizo un profundo estudio sobre los movimientos que hacían dentro del edificio los usuarios, clasificando estos en tres; visitantes, usuario de llegada o usuarios de salida. Del estudio concluyó que los usuarios no realizaban recorridos rectilíneos, por ello la forma del edificio se acerca muy fehacientemente a la ergonomía del movimiento de los usuarios.

Materiales y Construcción

La estructura está inspirada en las bóvedas de crucería gótica y busca la cubrición del espacio sin utilizar pilares intermedios de apoyo. Su arquitecto, consiguió hacerlo gracias a la versatilidad del hormigón. Del mismo modo consiguió realizar una estructura ligera a la percepción del visitante. Gracias a ello consiguió una gran aportación de luz natural que le da calidez al espacio.

Para conseguir una cubierta sin apoyos, a esta hubo que añadirle diversas costillas que fueran capaces de absorber los momentos creados en la misma. Por otro lado existe una clara preocupación por integrar los pocos apoyos con una imagen visual agradable.

Para concluir decir que todos los elementos de hormigón han sido pintados de blanco, enfatizando la luminosidad. Igualmente decir que su conservación, aparentemente, es muy buena, probablemente por la reforma que sufrió en 2005.



Instituto Salk de Estudios Biológicos

Louis I. Kahn

Año de construcción
1959-1965

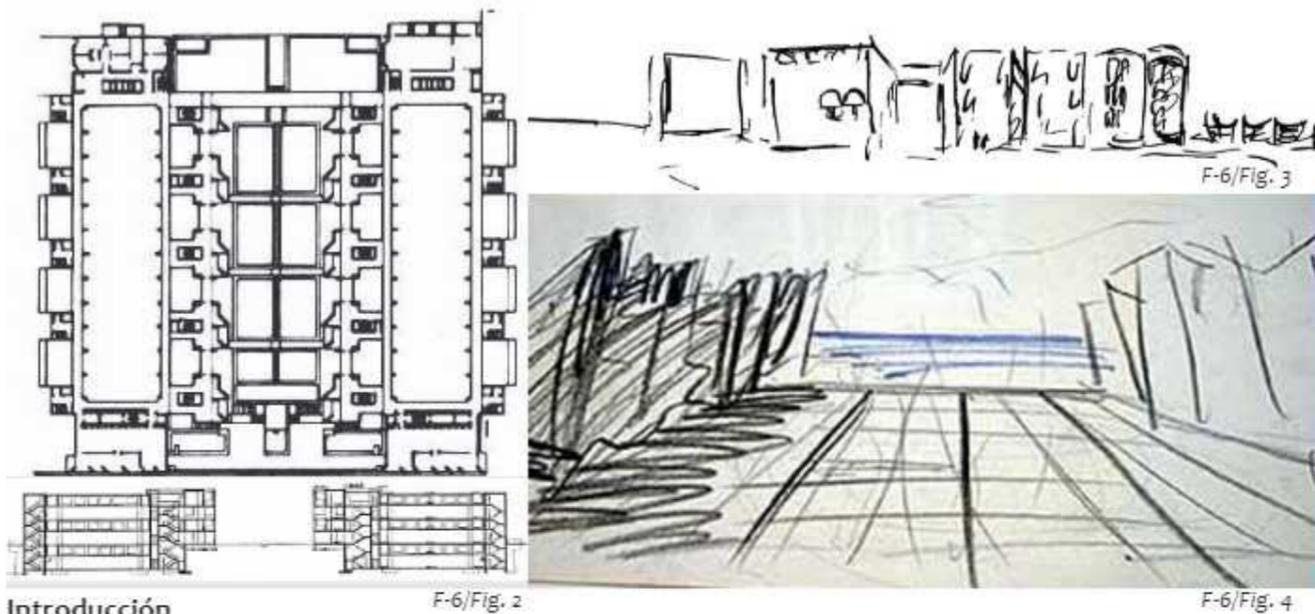
Localización
San Diego, California, Estados Unidos

Uso del edificio
Terciario

Singularidad
Encofrado minucioso



Planimetría



Introducción

Kahn buscó en este edificio la poética del espacio, convirtiéndolo en un símbolo del propio arquitecto. Su relación con el mar añadiéndole elementos de circulación de agua enfatiza aún más el sentido poético de la obra.

Algo a reseñar sobre el diseño es que al arquitecto no se le dio un programa específico del edificio, sino que este surgió del conocimiento del promotor, encontrando elementos comunes entre el arquitecto y el fundados del Instituto Salk.

Debido a la superación del presupuesto original, el plan maestro de Kahn no pudo llevarse a cabo al completo. Aunque para cumplir sus compromisos con el promotor realizó un plan mediante el cual se pudiera realizar las viviendas del personal y las estructuras auxiliares según los ingresos de la empresa.



Concepto

La premisa de que el programa no fue dado por el cliente, propició una buena relación entre el cliente y el arquitecto que fueron capaces de desarrollar el programa conjuntamente mediante largas conversaciones y estudios por parte del arquitecto. Esto provocó que Kahn pudiera expresar su arquitectura con mayor libertad, convirtiéndose esta obra en una de las más importantes de este arquitecto.

Kahn fue capaz de convencer al cliente de que el edificio debía de crearse en dos entornos diferenciados, por una parte, el entorno para el reino conceptual del intelecto y por otro lado el reino procesal de la investigación empírica. El primero de ellos compuesto por varios módulos en torno a un patio común y el segundo con una galería que los uniera entre sí.

Esta separación en dos entornos facilitó la creación de un icono del edificio, como es en este caso la galería central desde la cual se puede vislumbrar el mar al fondo, creando ese diálogo poético que buscaba el arquitecto.

Materiales y Construcción

Debido a la gran actividad sísmica que existe en California, las vigas de hormigón armado de grandes luces que cubren la zona de los laboratorios se atirantaron y apoyaron sobre soportes de plomo que le permitía el movimiento en caso de terremoto.

Por otro lado, su preocupación por la imagen visual del elemento acabado propició que se tuviera especial esmero en el diseño de los encofrados, ya que estos serían los encargados de darle la textura de acabado a los paramentos. Debido al clima seco de California, Kahn tuvo que tener especial cuidado con la formación de grietas en los elementos de hormigón, para ello diseñó unos encofrados especiales que eliminaron el problema.



Catedral de Brasília

Oscar Niemeyer

Año de construcción
1959-1970

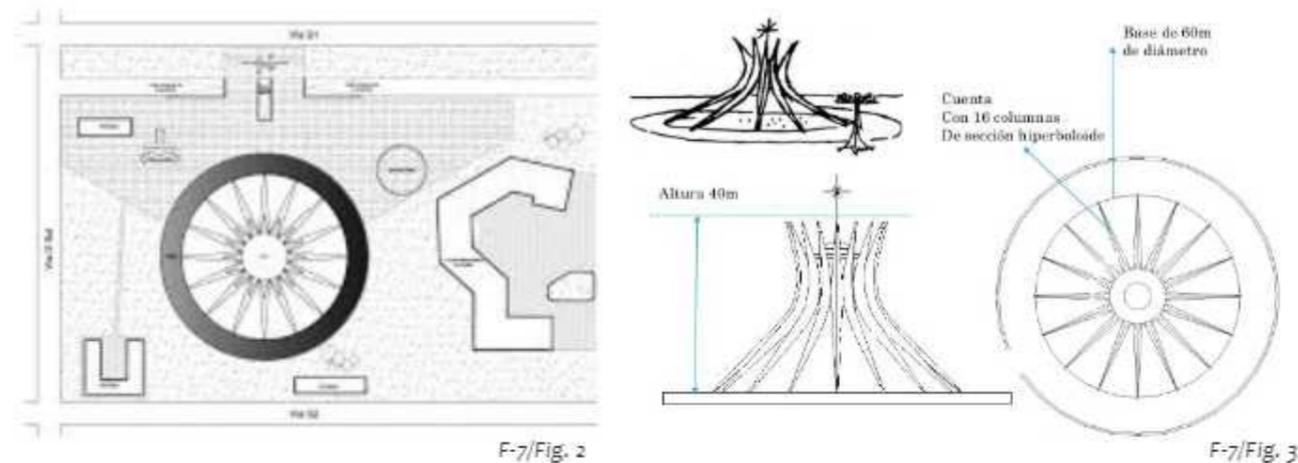
Localización
Brasília, Brasil

Uso del edificio
Equipamiento

Singularidad
Simbología constructiva



Planimetría



Introducción

Kubitschek, presidente de Brasil desde el año 1956 hasta 1961, impulsado por las ideas de desarrollo, pretendía buscar una ciudad que se convirtiera en la ciudad ideal de Brasil, en la capital de Brasil. Como no logró encontrar dicha ciudad convocó un concurso internacional para proyectar una ciudad nueva.

Para una obra de esas magnitudes sin precedentes en el país, se convocó el concurso internacional, que fue ganado por los arquitectos Lucio Costa y Oscar Niemeyer, considerados como los mejores arquitectos de la época. El primero de ellos era un gran urbanista que desarrolló su carrera en Brasil, el segundo, Niemeyer, era un seguidor de Le Corbusier, gran arquitecto que le dejó en herencia su concepto de la arquitectura. Cabe destacar que ambos arquitectos eran grandes comunistas, lo que favoreció en gran medida la obtención del proyecto.

La Catedral de Brasilia fue uno de los muchos edificios proyectados por Niemeyer, en el que buscó la sencillez de las formas junto a la monumentalidad del propio edificio.



Concepto

Niemeyer buscaba en su edificio la sencillez de las formas, la simetría, y la percepción regular del edificio desde cualquier punto de vista, consiguiendo una profunda expresión religiosa en el conjunto.

Igualmente, buscaba en su obra que los fieles se alejaran de la vida cotidiana y fortalecieran su sentir religioso. Ello propició que el edificio creará una serie de recorridos, con penumbras y sombras, que prepararan a los visitantes a su llegada. Creando un recorrido gradual desde el exterior hacia el interior.

Cabe destacar la monumentalidad que le había dado al edificio, erigiéndose varias nervaduras que salían del suelo, se encontraban en la zona más alta y continuaban apuntando hacia el cielo. Una abstracción con gran significado religioso.

Aunque no hemos logrado encontrar ninguna planta, del espacio interior podemos decir, a través de las fotografías, que se intenta representar una cúpula celeste, imitando el cielo, con gran luminosidad que confiere al espacio un ambiente muy particular.

Materiales y Construcción

La estructura principal del edificio está ejecutada en hormigón armado. Una estructura hiperboloide que junto a los grandes paños de vidrio asemejan la ascensión al cielo. Igualmente, la estructura la forman 16 columnas idénticas con sección hiperboloide, consiguiendo que todas las secciones del espacio sean idénticas. Con estas columnas Niemeyer trataba de representar dos manos moviéndose hacia el cielo.

La estructura tiene 40 metros de alto por 60 metros de diámetro. Para la sujeción de los grandes paños de vidrio, se utilizaron subestructuras circulares que transmiten los esfuerzos hacia la estructura principal.

Su estado de conservación es aparentemente óptimo, a pesar de que no ha sufrido ninguna intervención de gran calado.



Catedral de Santa María en Tokio

Kenzo Tange

Año de construcción
1961-1964

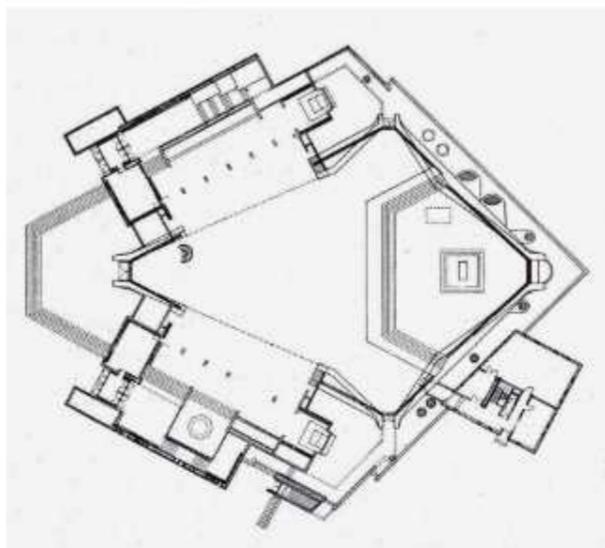
Localización
Tokio, Japón

Uso del edificio
Equipamiento

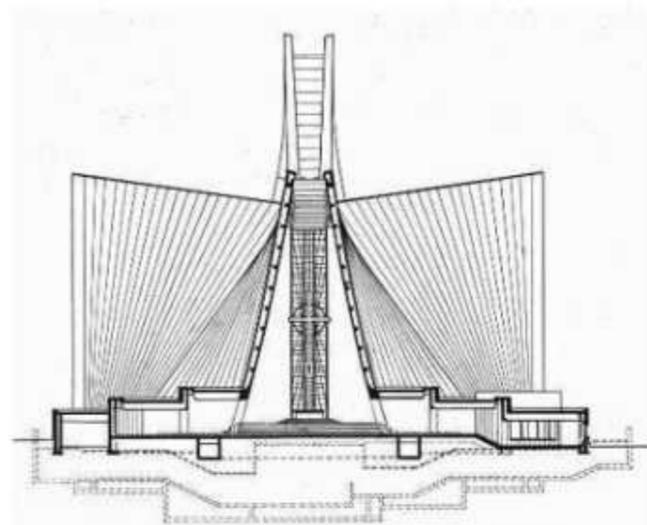
Singularidad
Simbología constructiva



Planimetría



F-8/Fig. 2

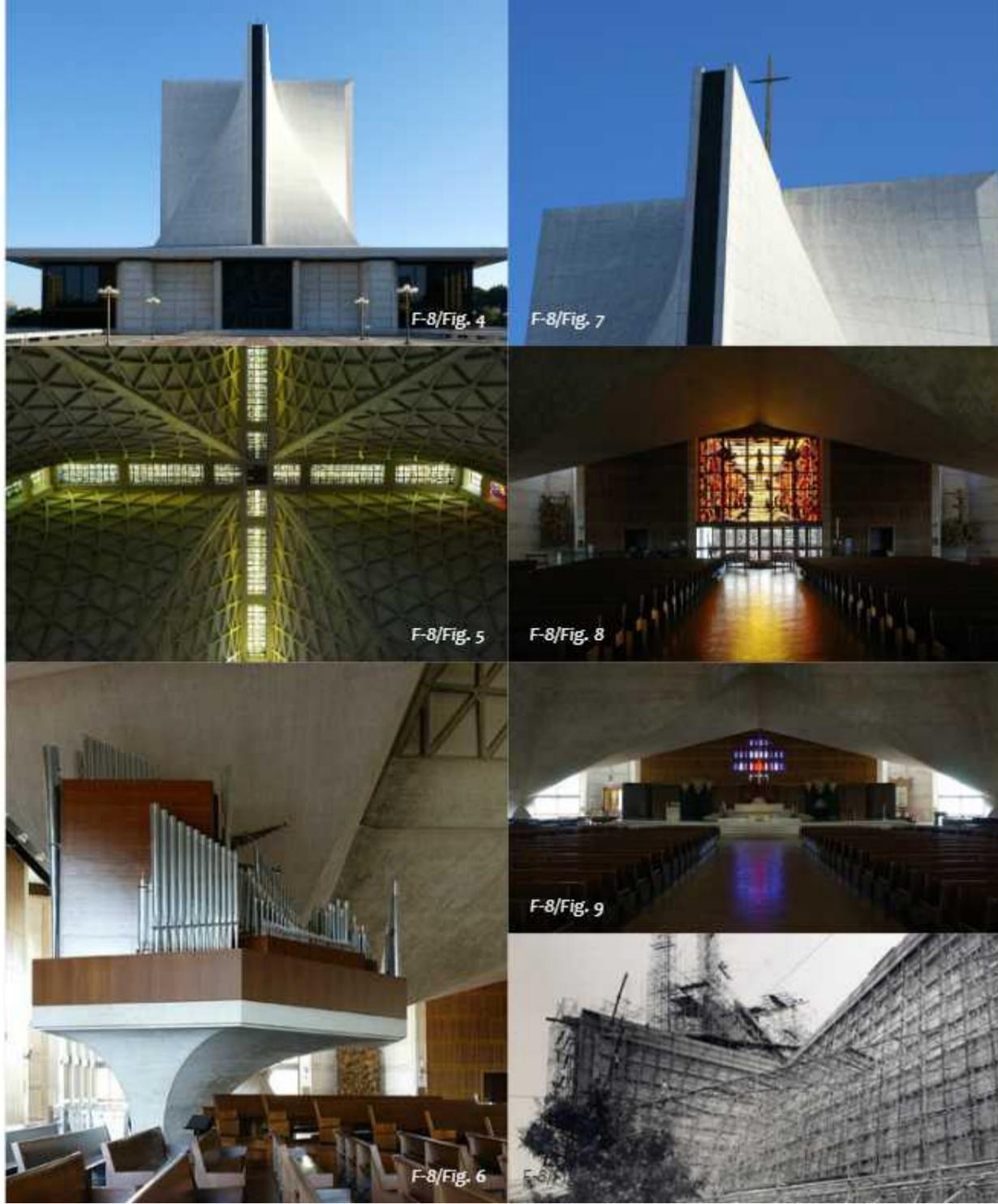


F-8/Fig. 3

Introducción

«La Arquitectura es la creación de una forma especial de comprensión de la realidad. Se trabaja y transforma la realidad a través de la construcción de un importante objeto de uso. La forma artística de este objeto, por otro lado, tiene la doble cualidad de servir de espejo y enriquecerlo. Esta comprensión de la realidad que tiene lugar a través de la creación de la arquitectura exige que tanto la anatomía de la misma, como su estructura sustancial y espiritual, sea comprendida como un todo» Kenzo Tange.

La Catedral de Santa Maria es el resultado de una nueva construcción sobre una antigua Catedral Católica. Esta primera Catedral Católica de Tokio se construyó en madera en 1899, en un principio era una Capilla del Seminario de los Misiones Franceses hasta que en 1920 fue convertida en Catedral. Durante la Segunda Guerra Mundial, en 1945, la Iglesia fue devastada. Por lo que, en 1960, se convocó un concurso para el diseño de la nueva Catedral, el cual lo ganaron Kenzo Tange, primer premio Pritzke en Japón.



Concepto

Para la realización de este proyecto Tange visitó un gran número de Iglesias Góticas de las que tomó cierta inspiración. La Catedral se acerca mucho más a un diseño más internacional, dejando de lado el modelo de templo japonés típico, aunque los faldones de los techos pueden tener alguna evocación a la arquitectura tradicional japonesa y los templos budistas.

La entrada principal se enmarca en dos muros de hormigón armado, que dan paso a la sala principal del templo. Su configuración es simétrica respecto al eje longitudinal, recordando de alguna manera las plantas tradicionales de las iglesias y catedrales europeas, en este caso utilizando ese aspecto como abstracción y poniendo en un segundo plano la típica cruz latina que conforman las plantas católicas.

A diferencia con las Iglesias Católicas, el campanario no se encuentra en el propio edificio, si no que se ha ejecutado en una torre de 60 metros exenta del edificio principal, conservando cierto diálogo debido a que se integra perfectamente gracias a la utilización del mismo material.

Materiales y construcción

Las construcciones principales se han ejecutado en hormigón armado. Sobre una planta de cruz latina se elevan los muros de gran altura, desde donde se despliega la cubierta con paños en parábolas hiperbólicas que dan lugar a las cuatro fachadas principales.

El techo confiere de gran simbolismo católico a la Catedral, ya que la única entrada de luz se realiza por la gran cruz latina que se genera en la cumbre la cubierta. A la vez que estas entradas de luz se prolongan hasta el suelo, separando la cubierta en cuatro partes bien diferenciadas.

Como hemos comentado anteriormente, los muros son de hormigón armado, característica propia de Tange. En este caso la catedral está revestida con láminas de aluminio galvanizado y acero inoxidable.



Torres blancas

Francisco Javier
Sáenz de Oiza

Año de construcción
1964-1969

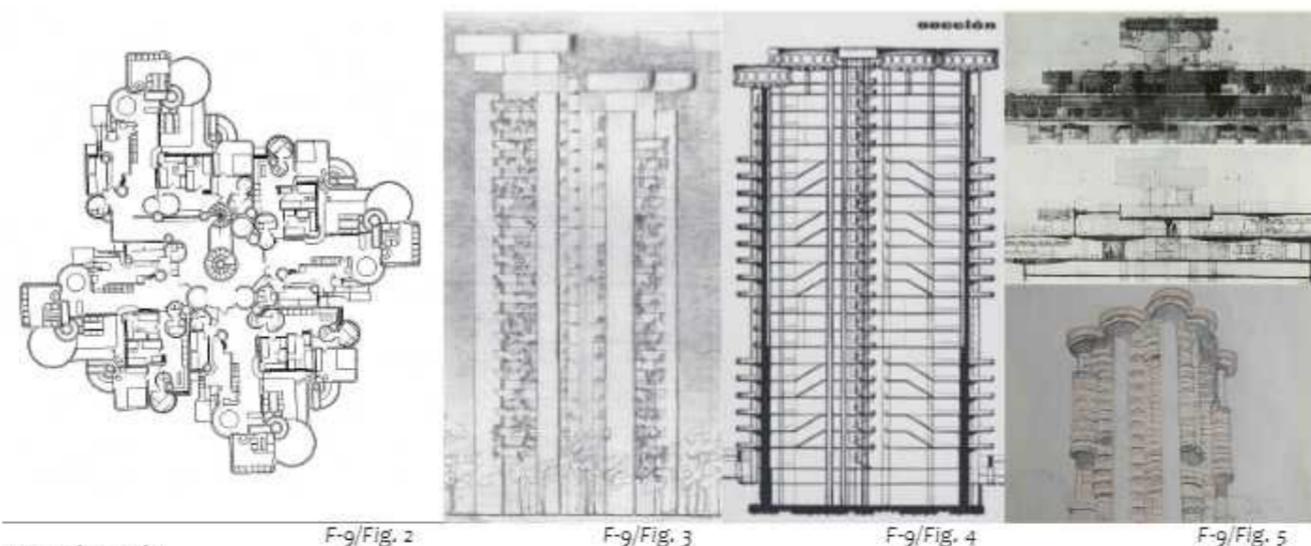
Localización
Madrid, España

Uso del edificio
Residencial

Singularidad
Formas orgánicas



Planimetría



Introducción

El edificio de torres blancas, que se construyó entre 1964 y 1969, está considerado por muchos el mejor ejemplo español de la época de organicismo, y para muchos uno de los mayores logros de este estilo que puede encontrarse en el mundo.

Torres Blancas fue un experimento impulsado por la constructora Huarte. Esta empresa puso los recursos necesarios para experimentar y apoyar la arquitectura de vanguardia en una época enquistada por el régimen franquista y los escasos recursos de una población empobrecida.

Este edificio recibe su nombre del propósito original de revestir las torres con polvo de mármol blanco mezclado con el hormigón. Este edificio fue el primero en altura realizado por su autor y se considera la obra más lograda de Sáenz de Oiza. Cabe destacar que esta obra se realizó en colaboración con los arquitectos Juan Daniel Fullaondo y Rafael Moneo.



Concepto

El propósito de Oiza no era otro que la realización de un edificio de viviendas orgánico, que se elevara, no como una sucesión de plantas, si no como una metáfora de árbol, cambiante conforme avanza en altura. Tanto es así que su parte superior se remata con grandes miradores y terrazas con núcleos de jardines.

Oiza era un claro seguidor de Le Corbusier, y su influencia se puede apreciar en muchos elementos de este edificio. Como hablábamos en el edificio de la unidad habitacional de Marsella, Oiza busca el mismo fin; elevar la construcción implementando otros servicios que confieran al edificio de cierta autonomía.

Este arquitecto también tomó de Frank Lloyd Wright las propuestas organicistas de su torre Price, realizando una interpretación personal de ambas tendencias.

La imagen característica de este edificio la encontramos en sus grandes paños circulares de hormigón, intercalados por paños planos y rematados en su cubierta con el núcleo social que lo componen doce discos de 10 metros de diámetro cada uno.

Materiales y construcción

Su estructura se realiza mediante grandes paños de hormigón armado circulares y planos, y que no presenta ningún pilar en su interior. Esa forma orgánica la aprovecha Oiza como oportunidad para habitar el espacio y proponer balcones con celosías de madera para su cerramiento. Son los muros exteriores y los muros de los núcleos de comunicaciones los encargados de la estructura del edificio.

La geometría circular de los paños de hormigón favorece el monolitismo de la estructura y garantiza esta en todas direcciones, dándole una estabilidad difícil de adquirir a través de otros métodos constructivos.

La materialidad del edificio intenta escapar de los materiales tradicionales, utilizando el hormigón como material de vanguardia en toda su estructura e incluso dejándolo como hormigón visto y evadiéndose de las tradicionales acabados de la época.



Piscinas en Leça de Palmeira

Álvaro Siza

Año de construcción
1966

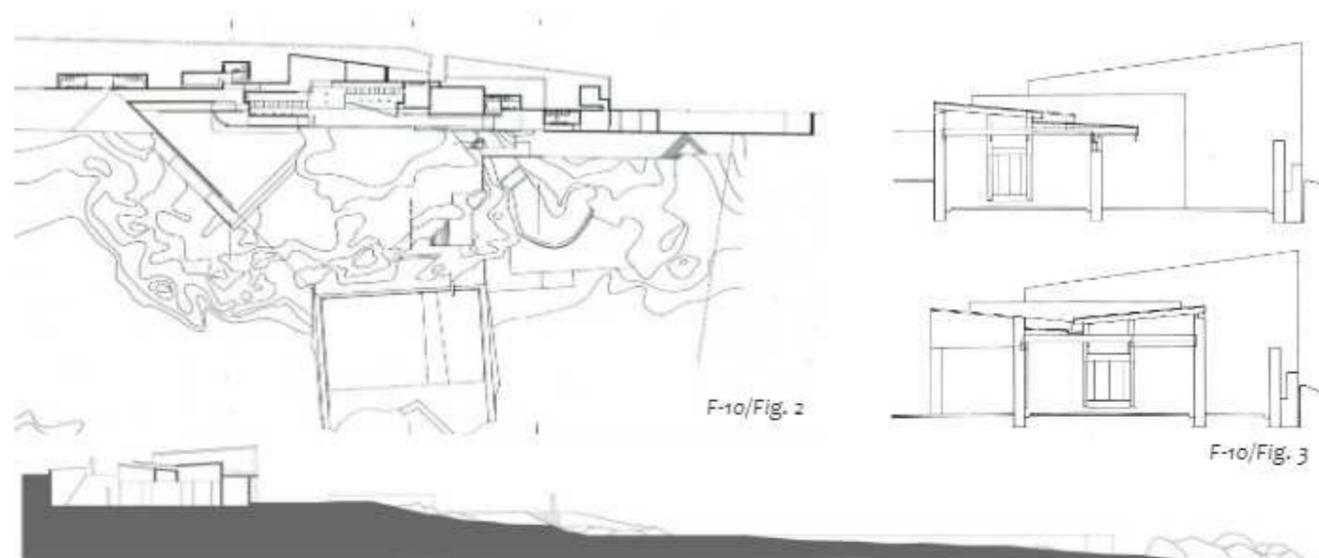
Localización
Leça da Palmeira, Portugal

Uso del edificio
Terciario, deportivo

Singularidad
Exposición marina



Planimetría



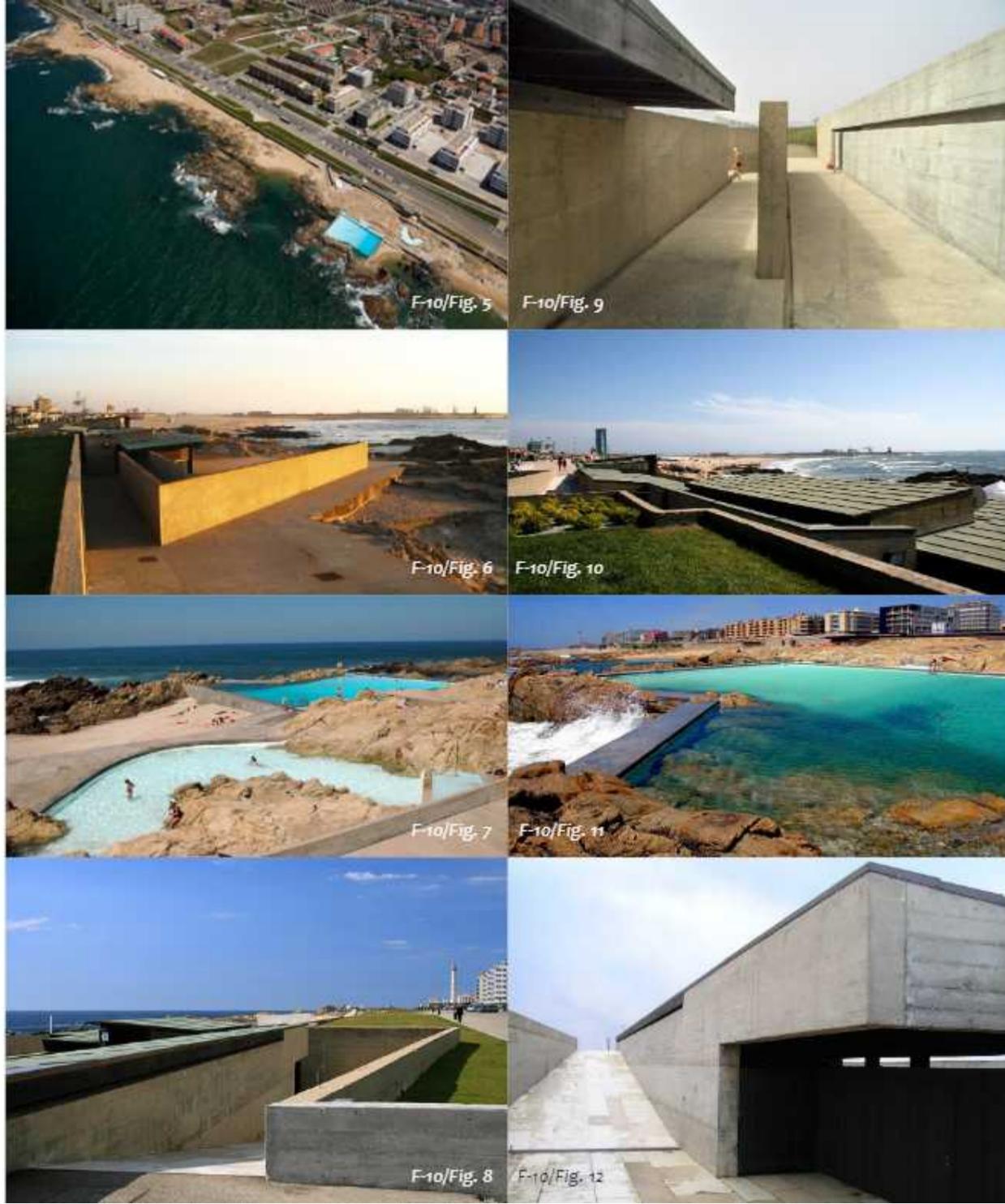
Introducción

La piscina das Marés es una de las primeras obras que Álvaro Siza realiza como arquitecto independiente.

El océano atlántico puede ser en muchas ocasiones bravo y hostil, pudiendo convertirse en un peligro para los bañistas, en especial para los más pequeños. Es por ese motivo que la Câmara Municipal de Matosinhos encargó estas piscinas de agua salada frente al mar al arquitecto Alvaro Siza, para que los bañistas pudiesen disfrutar de su costa en un entorno seguro y controlado, sobre todo en los días en los que el mar está más movido y las fuertes corrientes y grandes olas hacen que sea casi imposible acercarse al agua.

Construida entre los años 1961 y 1966 la Piscina des mares rápidamente se convirtió en uno de los principales puntos de interés arquitectónico de Oporto.

Las piscinas se colocan sobre un macizo rocoso en frente a la costa atlántica de la localidad de Matosinhos. El arquitecto no contaba con un estudio topográfico de la zona, por lo que tuvo que pasar varios días sobre el terreno estudiando y marcando las distintas formaciones y protuberancias de las rocas.



Concepto

Se trata de piscinas de agua salada situadas en contacto directo con el mar sobre un macizo rocoso, lo que el arquitecto quiso incorporar al lugar como parte imprescindible del proyecto.

Así, sin modificar el terreno, generó las piscinas con la mínima intervención posible. Los muros de las piscinas se extienden hacia el mar y se funden con la roca natural y el nivel del agua está estudiado de tal forma que los bañistas no puedan casi distinguir donde termina lo artificial y donde empieza lo natural, de modo que prácticamente uno pueda llegar a pensar mientras nada en ellas que se encuentra en alguna suerte de estanque natural generado por el ir y venir de las mareas.

Los materiales utilizados también juegan un papel muy importante en el proyecto, haciendo que sus colores y texturas, al igual que los de la naturaleza, estén en constante cambio según las estaciones, las mareas, el clima, etc.

Materiales y construcción

Todos los materiales son tratados aquí en su versión más “primitiva” y son dejados tal cual para que poco a poco se vayan transformando y mimetizando aún más si cabe con el paisaje que los rodea.

Los muros de hormigón visto, las carpinterías de madera oscura y los tejados de cobre oxidado, hacen que el complejo deje de ser algo “muerto e inanimado” para pasar a estar vivo, a ser una parte misma del entorno natural en constante cambio.

El edificio presenta un estado de conservación aparentemente bueno. Cabe destacar que la exposición marina aumenta el mantenimiento de las instalaciones deportivas, y además cuando esta se encuentra en desuso durante el invierno se agrava más la situación.

El cerramiento de hormigón visto necesariamente necesita de un mantenimiento constante, aún más en zonas marítimas. Este mantenimiento tiene que venir dado, forzosamente, por técnicas no destructivas que sean capaces de analizar la superficie sin producir daños visuales en la misma. En este caso el mantenimiento se agrava aún más ya que la escasez de estanqueidad del edificio facilita la entrada de sales marinas al interior.



Pabellón de Portugal Expo'98

Álvaro Siza

Año de construcción
1995-1997

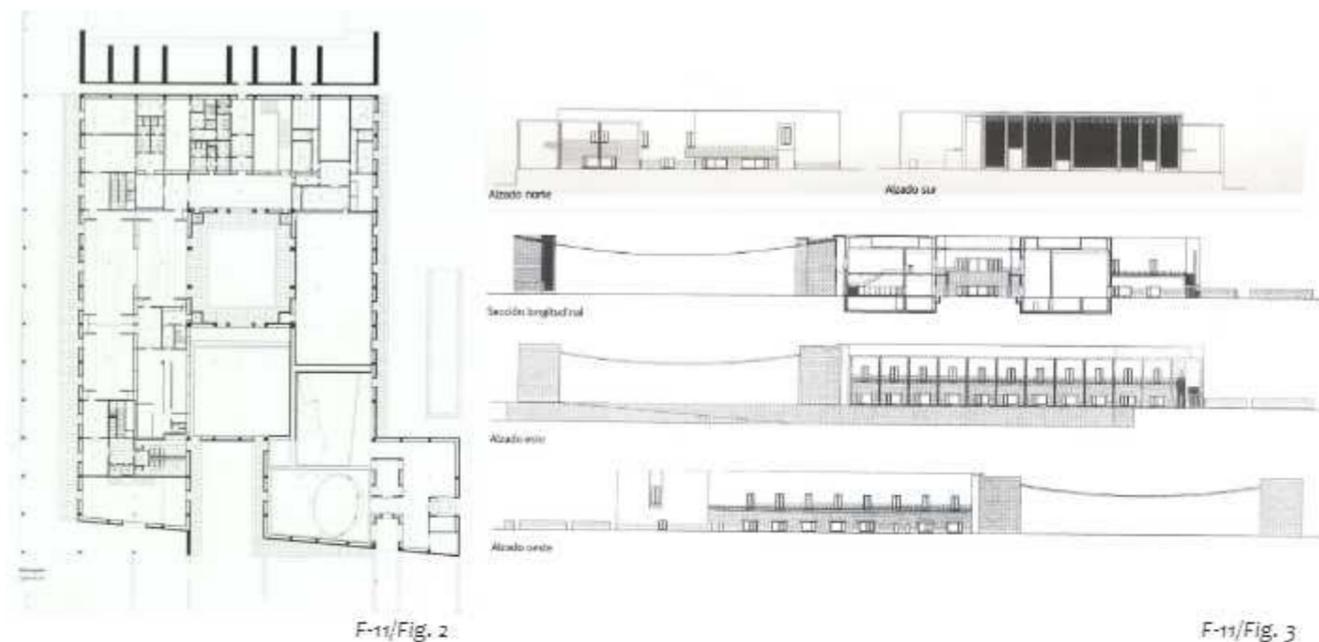
Localización
Lisboa, Portugal

Uso del edificio
Equipamiento, Cultural

Singularidad
Marquesina de hormigón



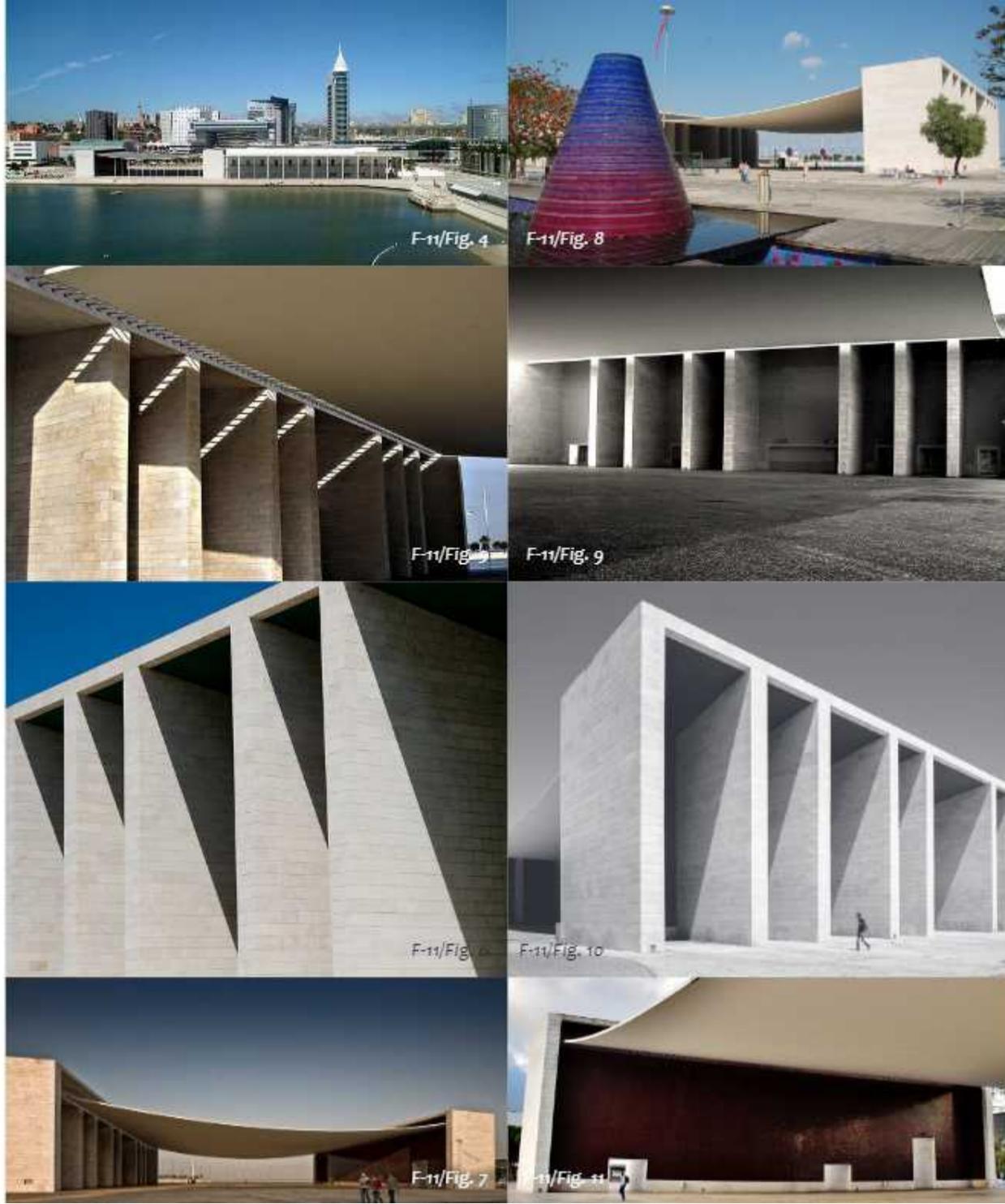
Planimetría



Introducción

En 1998 se celebró la Exposición Universal de Lisboa, la temática que enmarcaba el acontecimiento era la relación de la cultura portuguesa con el mar. Para representar esa temática las instituciones encargaron el edificio principal a Álvaro Siza, edificio que, además de ser el principal, representaría a todos los portugueses.

Para la realización del proyecto a Siza se le impusieron una serie de requisitos que el edificio debía de cumplir, la primera imposición venía dada por el uso del edificio; este tenía un fin permanente y, además de servir como edificio principal de la Expo'98, debería de servir posteriormente como edificio público. Pero este uso posterior no se definió y Siza tuvo que implementar espacios elásticos que fueran capaces de albergar nuevos usos en el futuro. A ello se le suma que en su contexto, el resto de edificio cuentan con muy poca definición, lo que hace más difícil su contextualización.



Concepto

Para este edificio, Siza se decanta por el estilo racionalista que lo caracteriza. Tenía que combinar una imagen emblemática y festiva junto a una clara sencillez del edificio.

En el diseño de interiores Siza contó con la colaboración de Souto de Moura, que coincidían en que; "Portugal no es un pequeño país escondido en una esquina de Europa, sino una nación que contribuyó al progreso de la civilización". Durante el proceso creativo de este proyecto, Siza vio reflejado el Pabellón de Portugal en los edificios Venecianos y su relación con el mar, tratando de ofrecer una vista diferente desde el edificio que plantea hacia el mar y crear esa relación marítimo-terrestre que se había perdido con el crecimiento del puerto y la pérdida de la lámina de agua por parte de los ciudadanos.

Cabe destacar que el punto más emblemático del edificio es la cubierta del espacio público, una losa de hormigón en forma de catenaria que representa las velas de los barcos, y una amplia longitud del espacio que, metafóricamente, se comporta como un gran ventanal a la ribera.

Estructura y Materiales

En este apartado cabe destacar que el edificio cuenta con una estructura de hormigón armado, haciendo presente este material en todo el edificio. Igualmente, la cubierta del espacio público, en forma de catenaria, se ha construido con una losa de hormigón de 20 cm de espesor, y atirantada con cables de acero que cruzan todo el espacio apoyándose sobre los dos grandes bloques, que hacen las funciones de armadura.

Los pórticos que sostienen la pérgola del espacio público se ejecutaron en hormigón al igual que el resto de la estructura, pero en este caso se recubrió con elementos cerámicos para eliminar la frivolidad que provoca el exceso uso del hormigón visto.

6.13. Conclusiones

Del análisis de los edificios anteriores podríamos destacar, en líneas generales, el buen estado de conservación que muestran casi todos los edificios, en especial los edificios que se encuentran en países desarrollados y que están en manos de empresarios que saben apreciar la arquitectura.

Sorprende el hecho de que haya edificios realizados en hormigón armado que tengan casi 75 años y que hayan llegado a nuestros días con ese estado de conservación, edificios que se caracterizan por la simbología y el iconismo de los grandes arquitectos del Movimiento Moderno.

Igualmente comentar que los edificios que hemos visto anteriormente contaron, muy probablemente, con una gran supervisión del proceso de obra y con una sensibilidad especial por parte del arquitecto para definir las formas, aportando sombras y luces. Matices que hacen especiales estos edificios.





7. Análisis de un caso de estudio

Fig. 25

7.3. Campañas

7.3.1. Detección visual

En el caso de estudio que hemos descrito anteriormente, antes de introducirse en las pruebas como tal, se realiza una detección visual del espécimen a analizar. Los trabajos de detección visual se llevaron a cabo durante las primeras semanas de trabajo, con el objetivo de detectar anomalías evidentes a simple vista. Para realizar este análisis se realizaron fotografías de cada uno de los cuadrantes descritos en la página anterior, con esto consiguieron tener la suficiente información para, una vez iniciados el resto de pruebas, tener acceso a la información a través de fotos de alta calidad y comparar los resultados.

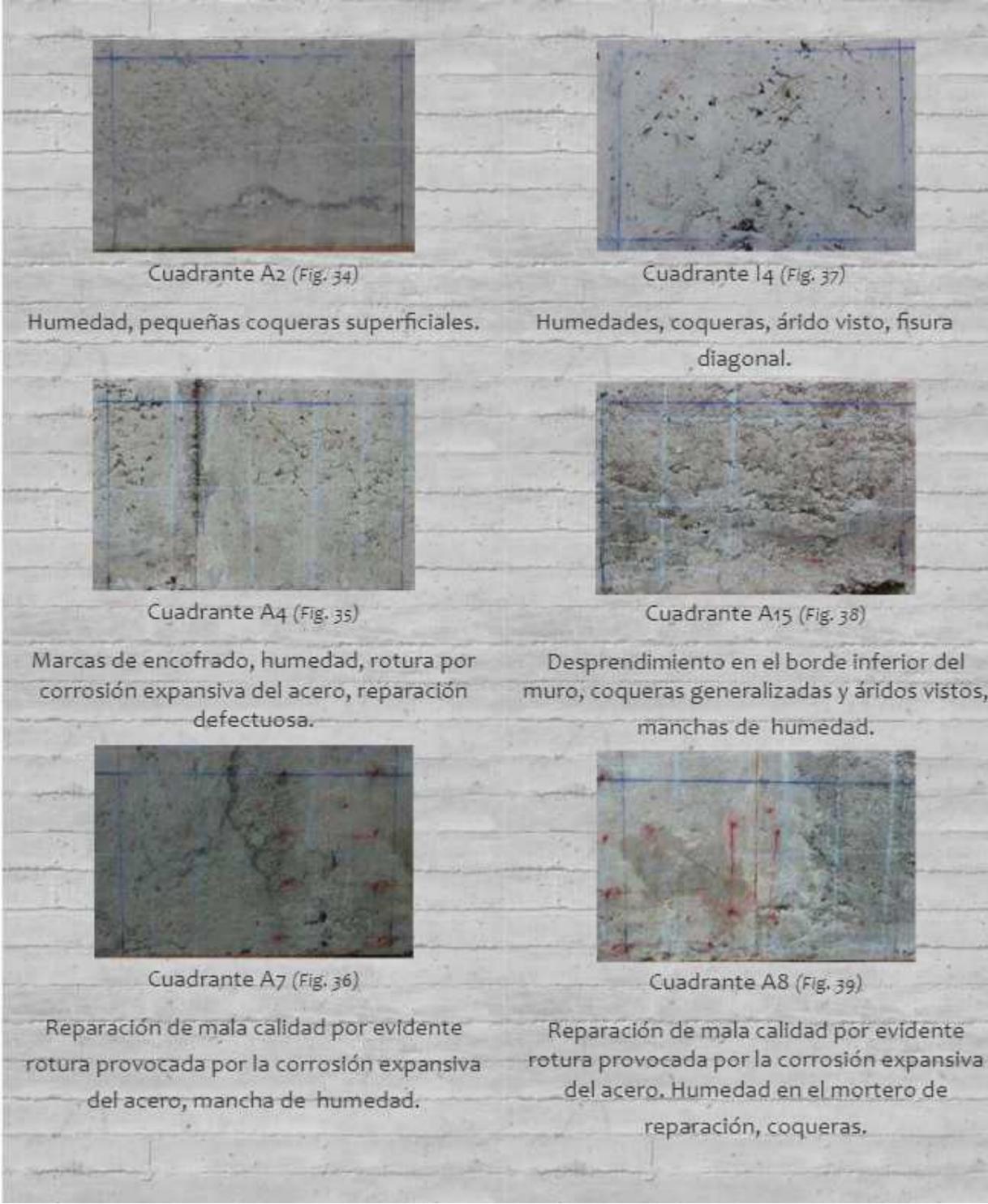
Como trabajos previos, se realizó una detección de las barras de acero que conformaban el espécimen con un detector de barras de acero, en este caso Profometer 4, del que se adjunta la imagen al final del párrafo. Una vez detectadas las barras se procedió a su marcado en el propio elemento a analizar y con tizas de diferentes colores se fueron marcando todas las anomalías que el muro presentaba a simple vista; coqueas, grietas producidas por la corrosión de las barras de acero, reparaciones defectuosas, desprendimientos por impactos, suciedad, humedad, presencia de hongos y defectos de construcción tales como las propias marcas del encofrado.



Fig. 32



Fig. 33



Cuadrante A2 (Fig. 34)

Humedad, pequeñas coqueas superficiales.

Cuadrante I4 (Fig. 37)

Humedades, coqueas, árido visto, fisura diagonal.



Cuadrante A4 (Fig. 35)

Marcas de encofrado, humedad, rotura por corrosión expansiva del acero, reparación defectuosa.



Cuadrante A15 (Fig. 38)

Desprendimiento en el borde inferior del muro, coqueas generalizadas y áridos vistos, manchas de humedad.



Cuadrante A7 (Fig. 36)

Reparación de mala calidad por evidente rotura provocada por la corrosión expansiva del acero, mancha de humedad.



Cuadrante A8 (Fig. 39)

Reparación de mala calidad por evidente rotura provocada por la corrosión expansiva del acero. Humedad en el mortero de reparación, coqueas.

Conclusiones previas

Como podemos observar en las imágenes que se adjuntan obtenidas de esta campaña, los defectos son generalizados en toda la superficie de análisis, de forma general, la mayoría de cuadrantes presentan coqueas que dejan el árido a la vista, en su mayoría de pequeñas dimensiones, también se puede apreciar en gran parte humedades que han creado diversas escorrentías sobre el hormigón. Ningún cuadrante presenta una terminación lisa. Por otra parte, las juntas de encofrado han generado marcas que se han transformado en pequeñas fisuras provocando puntos de absorción de humedad importante, igualmente, las reparaciones que se han realizado no se han ejecutado de forma óptima y han vuelto a aparecer grietas en aquellas zonas donde la armadura ha estallado el hormigón debido a la corrosión. Otro punto a destacar es la suciedad y acumulación de hongos en toda la superficie, pero de manera más notable en los cuadrantes superiores que corroboran la falta de mantenimiento que ha sufrido el elemento a lo largo de su vida útil. Estos desperfectos no solo se hacen presentes en la zona de coronación del muro. En su zona baja, donde realiza un ligero vuelo, podemos apreciar desprendimientos producidos por golpes y por pérdida de adherencia de la mezcla. Esta zona de remate inferior también ha sufrido reparaciones mal ejecutadas.

“Como primera observación se puede asegurar una ejecución deficiente, sobre todo en la etapa correspondiente al vibrado del hormigón, que produjo segregación de los áridos y la pasta de cemento, perdiendo homogeneidad y por tanto se deben presentar diferentes resistencias en cada punto a analizar, al mismo tiempo esto generó bolsas de aire que se manifiestan ahora como coqueas superficiales y probablemente existan coqueas al interior de la masa de la estructura.” [11]

Como conclusión previa podemos decir que la mezcla presenta una clara homogeneidad y una manifiesta exposición a cloruros que han producido roturas del hormigón por la corrosión de las barras.

7.3.2. Resistividad eléctrica

Los trabajos de campo se realizaron en dos días. Esta celeridad ha venido propiciada por el uso del equipo para medición de resistividad eléctrica, Resipod, del que se adjunta imagen al final de esta página. La propia memoria del equipo facilita el trabajo gracias a la capacidad de almacenar las propias mediciones.

Para que el funcionamiento del aparato fuera óptimo se utilizó un recipiente con agua donde se mojaban las sondas del aparato y posteriormente se ejercía presión sobre la superficie de hormigón donde era recibido el impulso eléctrico. Es de suma importancia realizar el procedimiento antes descrito cada vez que se toma una muestra para garantizar la conductividad eléctrica entre el medidor y el propio elemento de hormigón, ya que si no se realizara las mediciones podrían no ser fiables.

Para la prueba que se describe es necesario conocer la ubicación exacta de las armaduras, ya que estas al ser de acero puede producir variantes en los resultados. Este proceso se llevó a cabo previamente a la fase de detección visual. Las muestras se realizaron por filas, es decir, se tomaban las mediciones de los 15 cuadrantes primeros y se almacenaban los datos. También se tomaron datos de las condiciones climáticas; humedad y temperatura ambiente y superficial del elemento de hormigón, para comprobar que esas condiciones eran semejantes durante todo el ensayo.

Conclusiones previas

“Existen dudas sobre algunas mediciones que superan el rango de las tablas codificadas de diferentes autores que fueron estudiados en el capítulo precedente, superando los 200 kΩcm, llegando hasta cantidades de 500 o hasta 1000 kΩcm. El equipo Resipod asume como error los valores superiores a 1000 kΩcm”. [12]



Los registros que superaron el rango de las tablas codificadas fueron repetidos al menos 10 veces y en distintas posiciones evitando las barras de acero, empapando las sondas y recalibrando el equipo.

“Sin embargo, estos valores continuaban siendo arrojados, por lo que se procedió a registrar en la memoria. Es complejo arrojar una hipótesis de este brusco cambio, sin embargo no quiere decir que sea un hormigón completamente impermeable ni resistente 100% a conducir la electricidad. Se le llama un “desbordamiento”. Según la bibliografía consultada se recomienda no considerar esta medición”. [13]

La obtención de resultados arrojó que solo el 40% de la superficie no presentaba riesgo de corrosión, o que ese riesgo era despreciable. Igualmente se concluyó lo que antes ya se ha nombrado, existe una baja homogeneidad del hormigón y ello provoca que los resultados sean muy dispares en cuadrantes próximos.

La interpretación de estos resultados nos lleva a concluir que existen zonas más vulnerables a los ataques de cloruros y que en muchas zonas ya existe un ataque de cloruros evidente que se demuestran mediante este ensayo y se corroboran con los obtenidos en la fase de detección visual.

Todos los datos fueron clasificados según la tabla Polder en la que se clasifica la probabilidad de corrosión:

CLASIFICACION DE PROBABILIDAD DE CORROSION SEGUN POLDER			
Resistividad	Clasificación	Espécimen (cantidad mediciones)	%
>100 kΩcm	Riesgo de corrosión despreciable	82	42,1
50 a 100 kΩcm	Riesgo de corrosión bajo	40	20,5
10 a 50 kΩcm	Riesgo de corrosión moderado	71	36,4
<10 kΩcm	Riesgo de corrosión alto	2	1
	total	195	100

Fig. 42

7.3.3. Ultrasonidos

“Antes de comenzar las mediciones fue necesario considerar cual sería la mejor opción para realizarlas. Esto debido a que la posición de los transductores sería indirecta, es decir, la colocación de estos sería sobre el mismo plano, cabe señalar la cara exterior del muro. El equipo utilizado –PUNDITLAB- tiene variadas opciones de medición configuradas, la más óptima para este caso se consideró la llamada medición compuesta, para cálculo de la velocidad superficial del impulso, que, si bien continúa siendo indirecta, realiza un promedio de dos impulsos en distancias diferentes para luego indicar la velocidad de ese registro”. [14]

Para la realización de este ensayo es necesario realizar una serie de precedentes que hagan que las muestras sean lo más fiables posible. El primer antecedente consiste en la calibración del equipo, para realizar dicha calibración se procedió a la utilización de la varilla de calibración que incluye en propio equipo, asegurando así un trabajo óptimo.

Otro antecedente a realizar es el marcado de los puntos donde se ubicarán los transductores. Este marcado se realizó a una distancia entre ellos de 15 cm, realizando en cada cuadrante (45x30cm) dos tomas de datos como se muestra en la imagen del margen de esta página. Para la realización del ensayo es necesario impregnar de gel los transductores para que realicen su función, es importante retirar este gel una vez tomada la muestra con un poco de agua.

Igualmente hubo que limpiar toda la superficie de hongos y microorganismos para la correcta toma de datos, esta limpieza se realizó con piedra abrasiva, con la que se pudo obtener una superficie limpia y lisa. De este modo también se eliminaba en parte la porosidad excesiva que presentaba la muestra y que podía provocar que los datos no fueran los deseados. Para la obtención de resultados resulta fundamental acoplar correctamente los transductores a la superficie antes de enviar el impulso. Cabe destacar que para facilitar la estabilidad de estos sensores se utilizó la ayuda de una segunda persona, con lo que se consiguió una mayor claridad de los resultados.

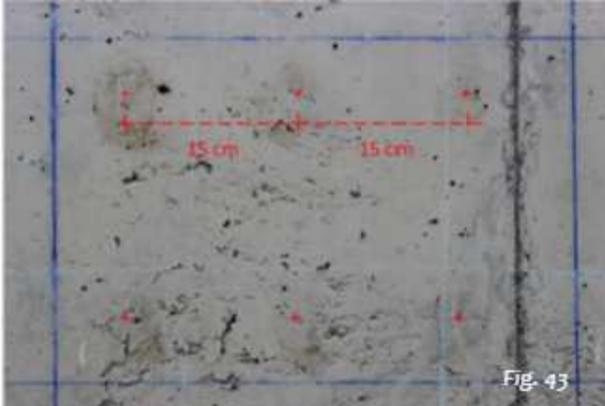


Fig. 43



Fig. 44



Fig. 45

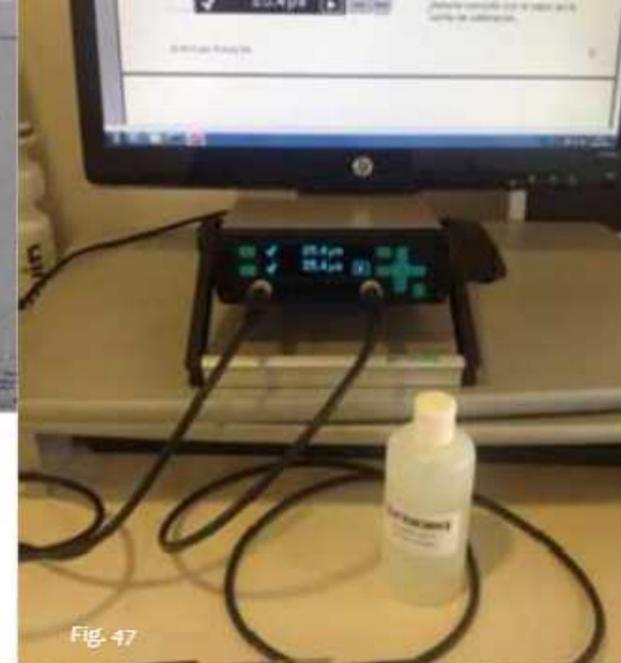


Fig. 47



Fig. 48

Conclusiones previas

Gracias al aparato utilizado se pudo eliminar problemas causados por mala ejecución de la prueba. El aparato es capaz de detectar qué valores están fuera de los márgenes y solicitar una repetición de pruebas para realizar el cotejo de datos.

Los resultados arrojados eran como se esperaban, los datos eran muy dispares, probablemente provocados por la falta de homogeneidad del paramento. “la más baja con 574 m/s medida en el cuadrante A5, donde encontramos un hormigón muy poroso y con reparaciones de mala calidad en su superficie, como también existen mediciones sobre los 5.000 m/s hasta alcanzar los 10.000 m/s en el cuadrante I9, que también presenta una elevada resistividad, por sobre los 100 kΩcm”. [15]

Por lo general los resultados son bastantes irregulares, lo que nos hace ver que una correcta ejecución es fundamental para conseguir las prestaciones que se pretenden, de nada sirve una buena dosificación del material si su ejecución no se realiza adecuadamente. A continuación se muestra una tabla a partir de la cual se ha llevado a cabo la clasificación de los distintos cuadrantes, clasificando en total 390 mediciones, 2 por cada uno de los cuadrantes:

CLASIFICACION DEL HORMIGON SEGÚN SU VELOCIDAD ULTRASONICA			
Velocidad Ultrasonica v (m/s)	Clasificación del hormigón	Espécimen (cantidad mediciones)	%
V>4575	Excelente	103	26,4
4575 > V > 3660	Bueno	88	22,5
3660 > V > 3050	Cuestionable	87	22,3
3050 > V > 2135	Pobre	47	12,1
V < 2135	Muy Pobre	65	16,7
total		390	100
CONCLUSION			
Excelente / Bueno		(26,4 + 22,5)	48,9 %
Cuestionable / Pobre / Muy Pobre		(22,3+12,1+16,7)	51,1%

Fig. 49

7.3.4. Esclerómetro

Para la prueba que se describe se utilizó el aparato Martillo Schmidt, diseñado para conocer el valor de rebote sobre una superficie, dando como resultado la resistencia a compresión del mismo. Como antecedente cabe destacar que la superficie debe ser limpiada concienzudamente con una piedra abrasiva para no alterar los resultados.

Reconociendo la composición no homogénea del material y para obtener una medición más exacta se decide realizar 6 pruebas en cada cuadrante y posteriormente promediarlos para obtener la resistencia media del cuadrante. Como en la prueba anterior ya se marcaron 6 puntos a una distancia entre ellos de 15cm, en este caso se aprovecharan esos puntos para realizar este ensayo.

El ensayo se realizó con bastante celeridad debido a la fácil ejecución de las pruebas, como hemos dicho anteriormente, la única premisa es la correcta limpieza del espécimen a analizar. Cabe destacar que las pruebas sobre los cuadrantes se han realizado de forma perpendicular al muro, lo que será importante para la interpretación de los resultados finales.

Reseñamos igualmente que en las zonas donde se han llevado a cabo algunas reparaciones defectuosas, se han aumentado el número de rebotes en cada uno de los 6 puntos evidenciando fallos en las reparaciones solo con el impacto del martillo.



Fig. 50

Fig. 51

Conclusiones previas

Para el análisis de los resultados obtenidos, se realiza una clasificación de los mismos en función al valor de rebote medio de cada uno de los cuadrantes, con lo que se obtiene un valor promedio de la resistencia a compresión de cada cuadrante. Para esta clasificación se utiliza la siguiente tabla:

CLASIFICACION DEL HORMIGON SEGÚN SU VALOR DE REBOTE			
VALOR DE REBOTE	N/mm ² (aprox)	Espécimen (cantidad mediciones)	%
>50	50	2	1
45 > V > 50	45	25	12,9
40 > V > 45	38	109	55,9
35 > V > 40	30	56	28,7
V < 35	25	3	1,5
total		195	100
CONCLUSION			
Promedio valor de rebote muro	41,48		
Valor más bajo cuadrante J2	31,6		
Valor más alto cuadrante G7	51,3		

Fig. 52

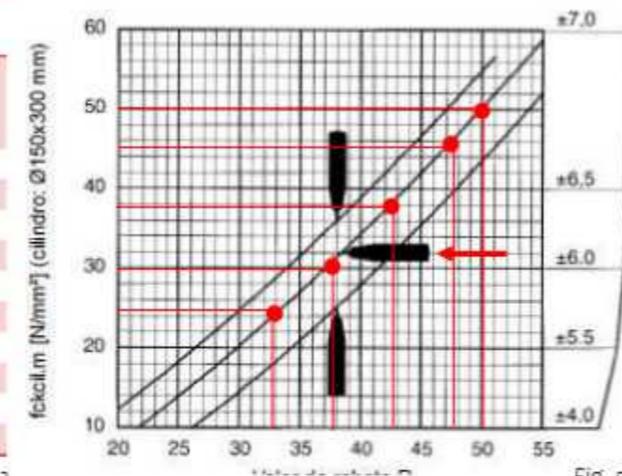


Fig. 53

Como explicábamos en la descripción del espécimen, el muro fue diseñado para una resistencia de 25 N/mm².

“Considerando este dato, podríamos decir que casi todos los cuadrantes se encuentran en un rango aceptable, ya que valores promedio de rebote de menos de 35 solamente encontramos en 3 cuadrantes”. [16]

Cabe destacar que las zonas donde se han obtenido estos valores son en las reparaciones, incluso algunos de esos ensayos han sido suprimidos al no soportar el impacto del esclerómetro.

7.4. Cartografía

Con el fin de entender el muro completo en su conjunto, a continuación se adjuntarán diversas cartografías realizadas a partir de las pruebas del apartado anterior, tratando de encontrar ciertas relaciones entre las técnicas no destructivas utilizadas y ver el modo en que se complementan. Recordamos que el muro se dividió para su análisis en 195 cuadrantes, a los cuales se les realizó metódicamente las pruebas anteriormente descritas.

7.4.1. Cartografía detección visual

Para analizar los resultados de esta campaña se realizaron fotografías de los distintos cuadrantes para posteriormente unirlos a través de herramientas informáticas y obtener una fotografía completa del elemento con la resolución suficiente para poder trabajar en ella. Las anomalías detectadas mediante la detección visual se clasificaron en:

1. Fisuras
 - a. Producidas por retracción plástica o hidráulica.
 - b. Producidas por la corrosión expansiva de las armaduras.
2. Coqueras
 - a. Superficiales de pequeño tamaño.
 - b. Superficiales de gran tamaño con árido a la vista.
3. Humedad
 - a. Evidentes por manchas.
 - b. Generación de microorganismos.
4. Acciones externas
 - a. Desprendimiento.
 - b. Reparaciones defectuosas.

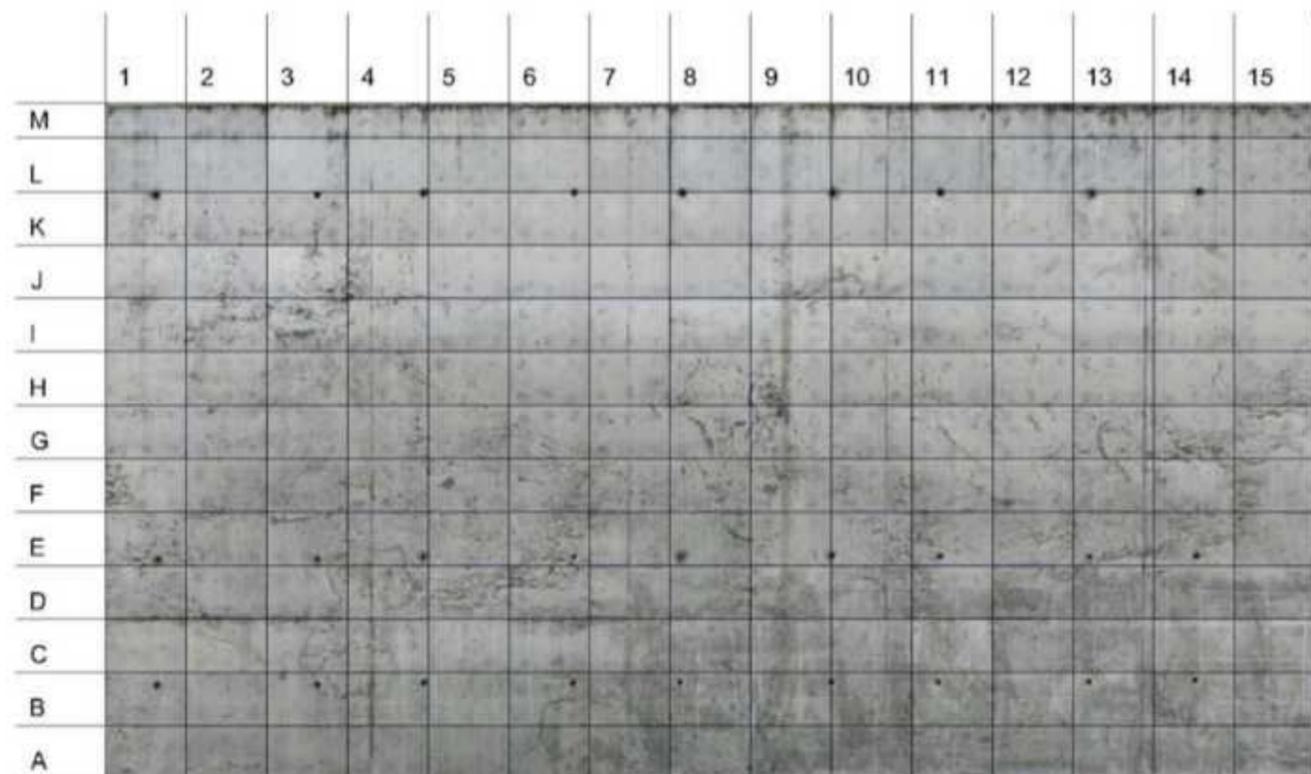
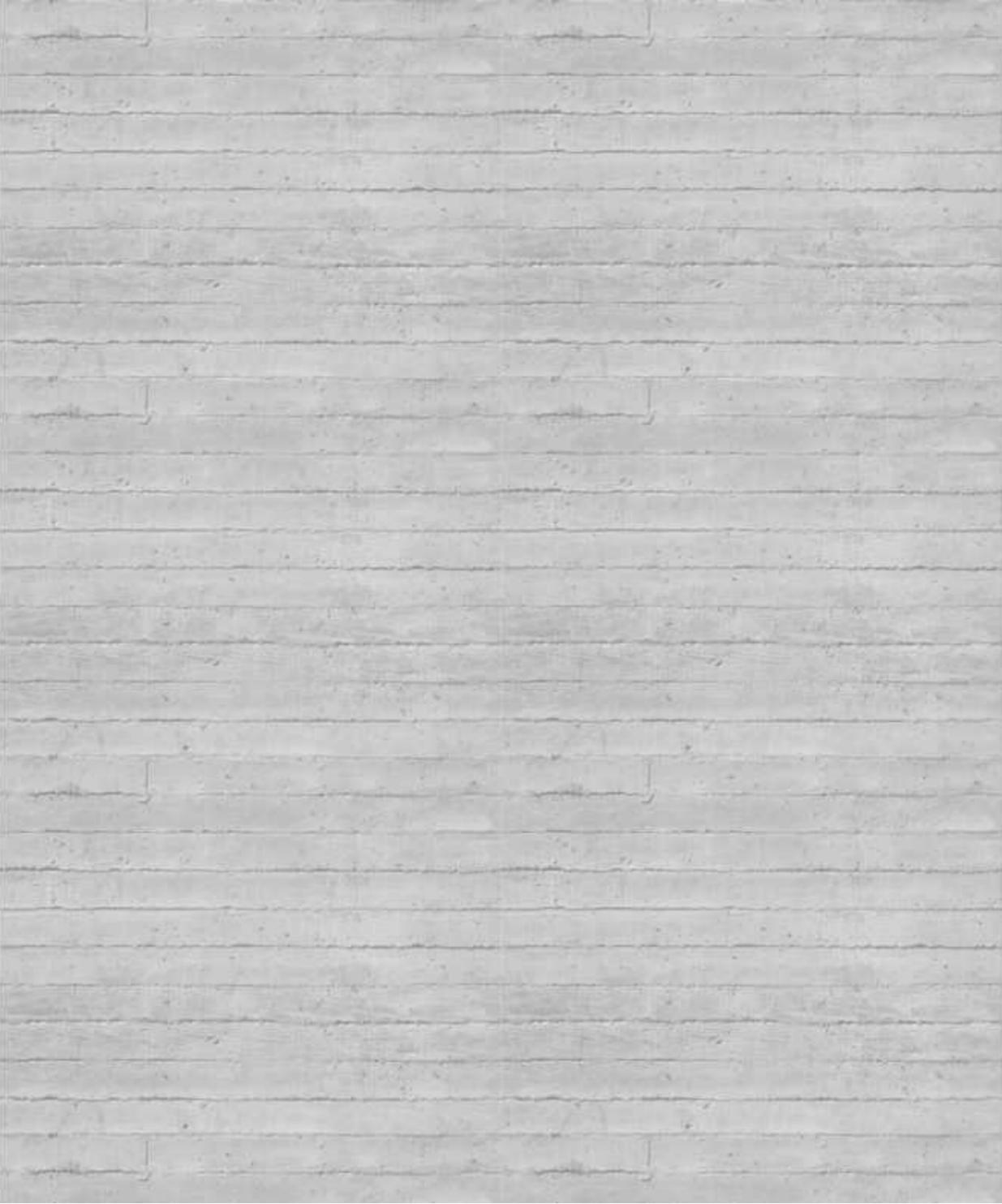


Fig. 54

La imagen anterior muestra claramente la escasa homogeneidad que presenta la mecla, igualmente se aprecia a simple vista la gran cantidad de coqueras que presenta la muestra.

A continuación se adjunta una cartografía con todos los daños analizados sobre la muestra.

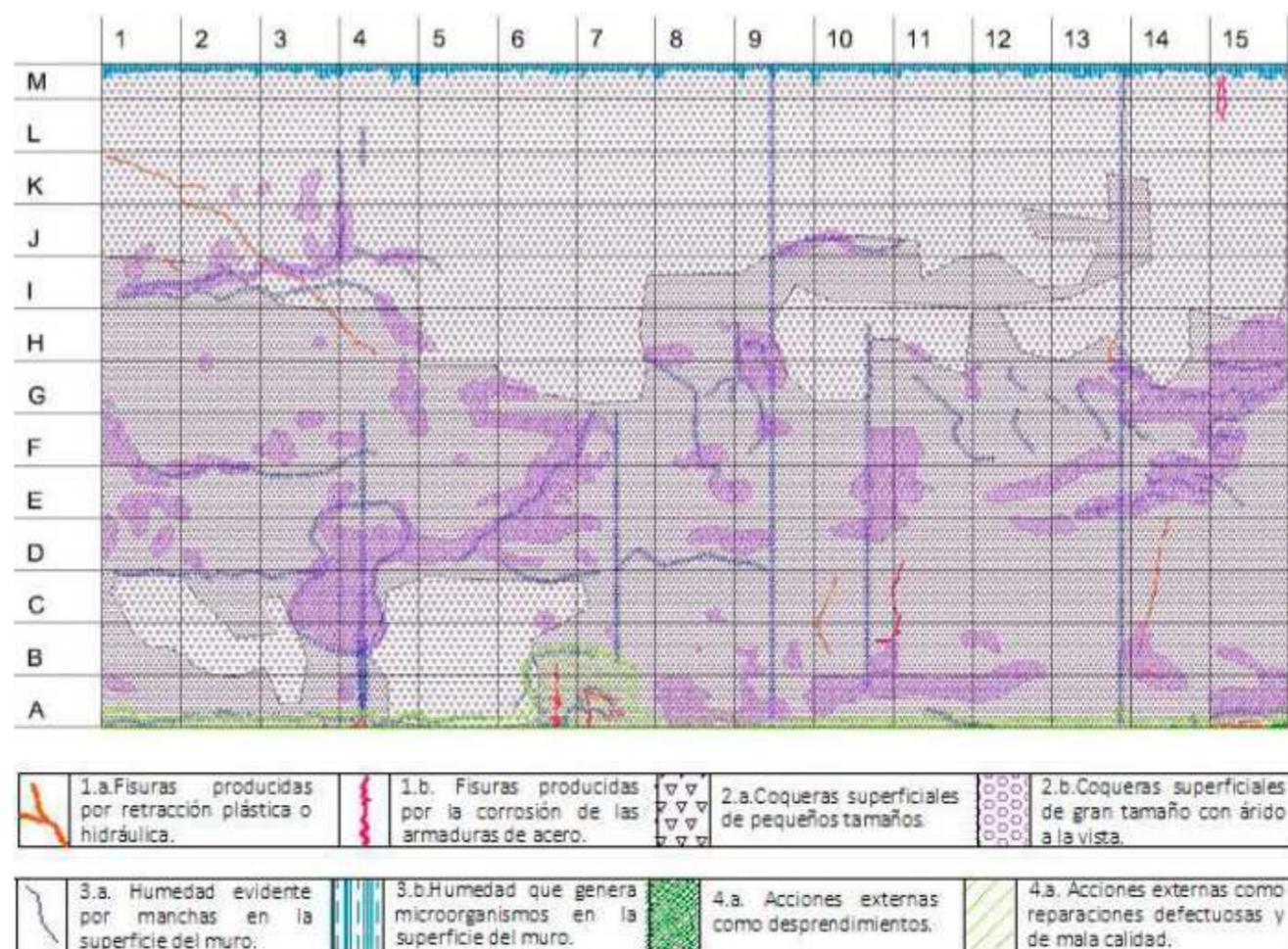


Fig. 55. Cartografía Detección Visual General del espécimen de Hormigón Armado, donde se especifican defectos evidentes en la superficie.

CARTOGRAFÍA DETECCIÓN VISUAL			
Defecto General	Defecto Especifico	Cantidad cuadrantes	%
FISURAS	Producidas por retracción plástica o hidráulica.	15	7,7
	Producidas por la corrosión de las armaduras.	12	6,15
COQUERAS	Superficiales de pequeño tamaño.	195	100
	Superficiales de gran tamaño con árido a la vista.	95	48,7
HUMEDAD	Evidente por manchas.	93	47,7
	Generación de microorganismos.	15	7,7
ACCIONES EXTERNAS	Desprendimientos.	2	1
	Reparaciones defectuosas.	17	8,7

Fig. 56. Resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre la muestra

Conclusiones particulares

Se aprecian con facilidad defectos superficiales en todo el muro de hormigón, destacando el gran número de coqueas derivados por una mala ejecución del elemento.

En este caso de estudio existen dos tipos de coqueas; en primer lugar podemos apreciar mayoritariamente pequeñas coqueas, pero de manera muy desproporcionada un elevado número de coqueas de tamaño superior que dejan el árido a la vista, en muchos casos cuadrantes completos rellenos de estas coqueas. Todo ello produce una alta porosidad del material elevando el riesgo de penetración de humedad.

Por otro lado, la presencia de humedad se hace manifiesta en el 50% de la superficie del muro de hormigón armado, haciéndose más presente en las zonas inferiores y sobre el borde superior.

“Existe una relación entre la ubicación de las manchas de humedad y diferentes variables, como por ejemplo la existencia de humedades en lugares donde el encofrado ha dejado marcas, evidentes de una incorrecta puesta en obra, estas marcas han derivado a zonas porosas y erosionadas siendo nido de focos húmedos; en la cartografía se pueden ver líneas azules verticales casi perfectas, como en las columnas 4-7-10-13, u horizontales como entre la fila C-D”. [17]

La correlación entre humedad y fisuras provocadas por corrosión de las armaduras es evidente, al mismo tiempo que se puede apreciar las reparaciones sobre estas. Reparaciones que han conseguido tapar el problema en el momento de ejecutarlas, pero que no se han resultado de raíz y han provocado que este elemento se encuentre actualmente en un avanzado estado patológico.

7.4.2. Cartografía Resistividad eléctrica

En la siguiente gráfica se han representado todos los datos obtenidos de la campaña de resistividad eléctrica. Podemos destacar que las tres filas con índices más bajos se encuentran en la zona superior del muro, mientras que los mas bajos se encuentran en el tercio inferior. La muestra es bastante variable y existen cuadrantes muy próximos que presentan valores muy dispares, aunque cabe recordar que la homogeneidad no es una cualidad de este espécimen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M	26	20,9	25,6	22,2	24	43,9	14,2	15,3	15,5	13,8	21,2	15,2	17	14,8	13,9
L	8,9	14,3	11,7	19,9	16,3	14,6	17,2	19,6	9,3	24,9	21,3	34,1	23,9	17,4	14,3
K	32,5	51,3	38,5	41,2	22,8	23,4	20,9	22,3	21,7	195,8	108,3	121,6	99,6	14,9	234
J	299	211	260	136,3	150,9	275	287	446	396	210	412	364	354	372	439
I	387	316	192,9	263	264	307	286	304	120,6	287	193,4	333	395	203	266
H	35,9	27,6	40,5	43,3	53,8	47,6	37	31,8	33	39,6	42,6	48,3	45,9	40,5	103,8
G	28,7	33,2	60,9	69,4	65,1	56,6	35,8	28,5	59	42,7	53,3	49,9	71,2	98	113,1
F	22,2	38,4	68,3	70,9	48,2	67,2	64,1	54,7	33,1	48,4	55,3	73,5	76,3	40,8	55,4
E	38,6	45,7	51,6	65,5	68,4	141,6	53,1	45,6	35,5	78,3	130,6	167,6	146,9	58,5	94,3
D	33,2	45,4	53,4	54,8	103,2	98,5	104,1	61,5	62,4	84,1	61	86,4	42,1	47,8	71,3
C	195,5	653	379	178,3	772	350	291	289	274	319	299	471	421	122,3	869
B	160,3	481	111,5	113	156,5	192,4	369	182,7	409	105	490	284	271	248	447
A	28,7	87,6	54,7	51,3	61,7	183,8	1130	157,3	355	279	1035	202	150,1	150,3	235

Fig. 57. Tabla de datos obtenidos a través del ensayo de resistividad eléctrica.

CLASIFICACION DE PROBABILIDAD DE CORROSION SEGÚN POLDER	
Resistividad	Clasificación
>100 kΩcm	Riesgo de corrosión despreciable
50 a 100 kΩcm	Riesgo de corrosión bajo
10 a 50 kΩcm	Riesgo de corrosión moderado
<10 kΩcm	Riesgo de corrosión alto

Fig. 58

CLASIFICACION	CANT.	kΩcm	COLOR
BAJA	54	8,9 – 39,6	
MEDIA BAJA	59	40,5 – 99,6	
MEDIA ALTA	53	103,2 – 299	
ALTA	29	304 – 1130	

Fig. 59

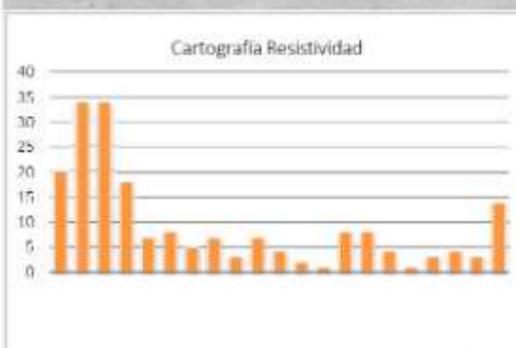


Fig. 60

A continuación se superponen los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistividad eléctrica y detección visual, para poder realizar una relación entre ellos y comprobar que las distintas anomalías detectadas por una técnica se hace presente mediante algún tipo de manifestación en la detección visual.

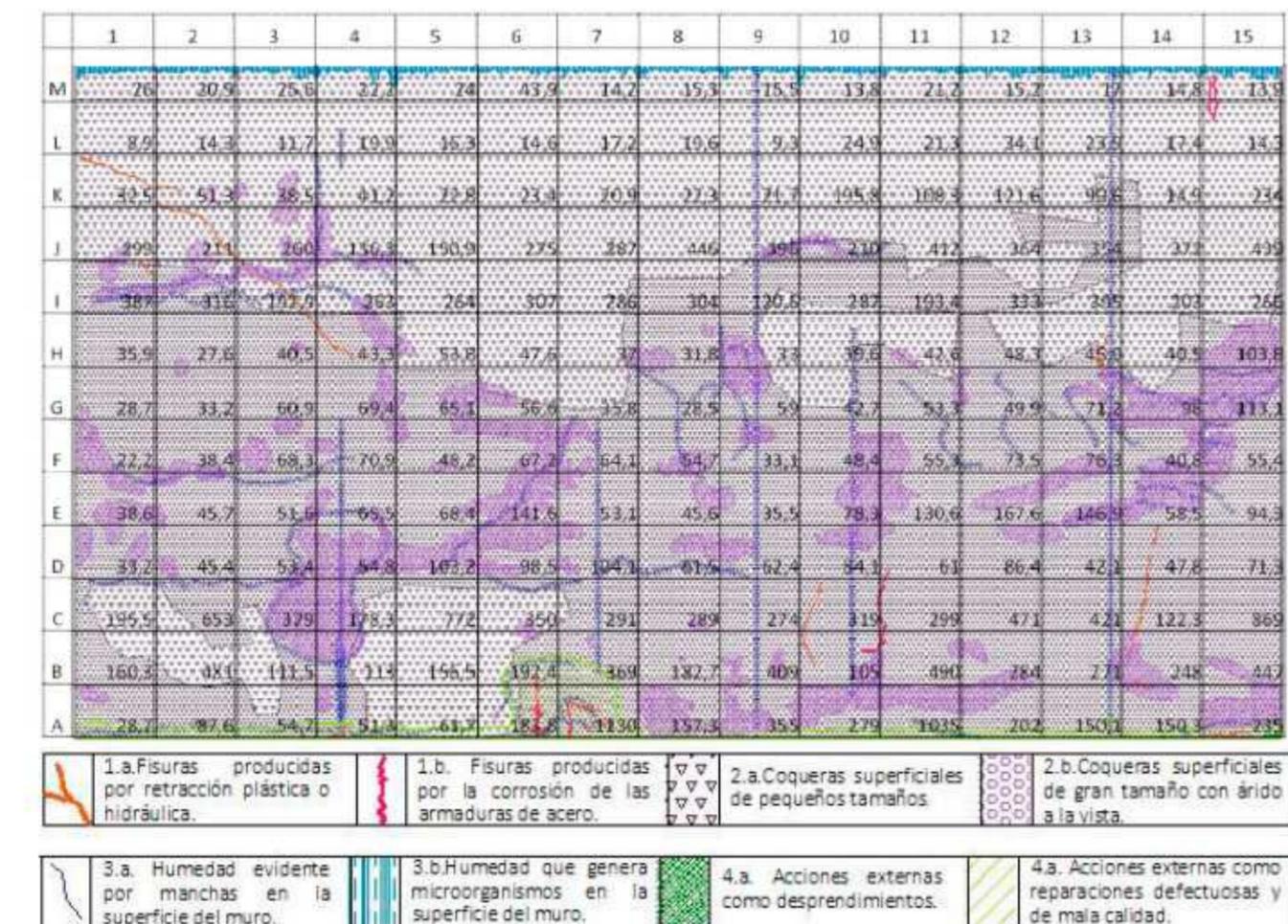


Fig. 61. Cartografía detección visual superpuesta a valores de Resistividad Eléctrica.

Conclusiones particulares

Mediante la superposición de datos podemos evidenciar relaciones entre las zonas que presentan microorganismos y hongos y las zonas que muestran una menor resistividad eléctrica, lo que sin ninguna duda viene dado por los altos niveles de humedad que existen en el tercio superior del muro.

Cabe destacar, que en la zona más baja del muro también existe una clara relación entre los datos obtenidos visualmente y empíricamente, detectándose una resistividad alta o media alta en las zonas donde se han realizado reparaciones con morteros, dando lugar a una reducción considerable de los poros del elemento. “Del mismo modo, las filas I – J que también agrupan valores altos de resistividad, presentan coqueas superficiales, pero controladas, sin áridos vistos a diferencia de la zona inmediatamente inferior donde se concentra este defecto y agrupa los valores medio bajo y bajo del ensayo de resistividad” [18].

-El mínimo valor registrado es de 8,9 kΩcm, cuadrante L1.

-El máximo valor registrado es de 1130 kΩcm, cuadrante A7.

-El valor promedio de la muestra es de 148 kΩcm.

CLASIFICACION DEL HORMIGON SEGUN SU VELOCIDAD ULTRASONICA	
v (m/s)	Tipo
V > 4575	Excelente
4575 > V > 3660	Bueno
3660 > V > 3050	Cuestionable
3050 > V > 2135	Pobre
V < 2135	Muy Pobre

Fig. 62

CLASIFICACION	CANT.	(m/s)	COLOR
BAJA	49	687 – 2.797	
MEDIA BAJA	49	2.799 – 3.779	
MEDIA ALTA	49	3.798 – 4.615	
ALTA	48	4.626 – 9.900	

Fig. 63

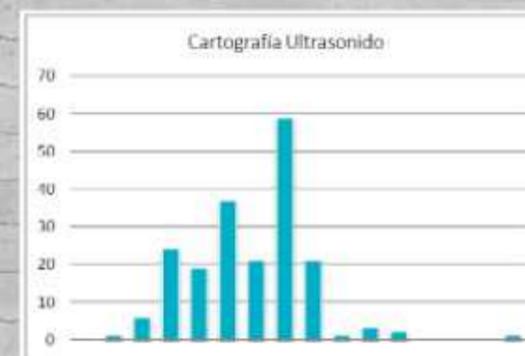


Fig. 64

7.4.3. Cartografía Ultrasonidos

En la siguiente cartografía se muestran todos los resultados obtenidos por cada uno de los cuadrantes donde se muestran las mayores velocidades de ultrasonido registradas. Nuevamente estos resultados demuestran la poca homogeneidad de la muestra. La velocidad de ultrasonido habla de superficies lo suficientemente densas para transmitir una onda ultrasónica, pero no descarta que esta superficie se encuentre además saturada de agua.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M	4054	2814	1875	4298	3282	2530	4559	3151	4425	3304	4348	3171	1517	3226	3138
L	1502	3268	687	4559	6849	4464	6787	4747	4399	4918	4425	1738	1374	3425	3086
K	1150	9900	4381	4068	5017	4685	3779	4806	6266	5068	4917	4612	2479	4569	4393
J	3330	2100	2015	4473	4407	5000	5051	3378	3345	5211	4729	4967	4821	1322	4885
I	7177	2412	2799	4286	4532	3386	3233	3304	5017	4615	3488	3667	3521	4438	4155
H	4286	4854	4967	1834	4886	4478	4673	4545	5034	5455	5102	4951	3268	5415	3827
G	1442	4304	4775	4243	3330	5086	3798	4459	6750	4699	4598	4967	5440	3685	4655
F	4598	4967	4569	4714	4821	4917	4420	721	4555	4583	4626	4917	3631	3667	4685
E	3180	4598	4744	3445	4869	3322	2797	2872	4420	3264	4473	4641	3462	3713	3207
D	1469	2372	3207	4125	1743	1897	4381	2395	2912	2250	3527	2207	2619	2240	3100
C	3293	3445	3271	3511	4160	4219	3544	1977	2274	2253	2260	1625	2496	2015	4068
B	2628	3808	4280	4541	3587	1999	1889	1540	4355	857	2071	1676	2012	2867	1333
A	7212	3363	4381	1533	1469	2430	1969	2086	4641	3867	2274	2900	3414	3414	1962

Fig. 65. Tabla de datos obtenidos a través del ensayo de ultrasonido.

A continuación se superponen los resultados obtenidos mediante el ensayo de ultrasonidos y detección visual, para poder realizar una relación entre ellos y comprobar que las distintas anomalías detectadas por una técnica se hace presente mediante algún tipo de manifestación en la detección visual.

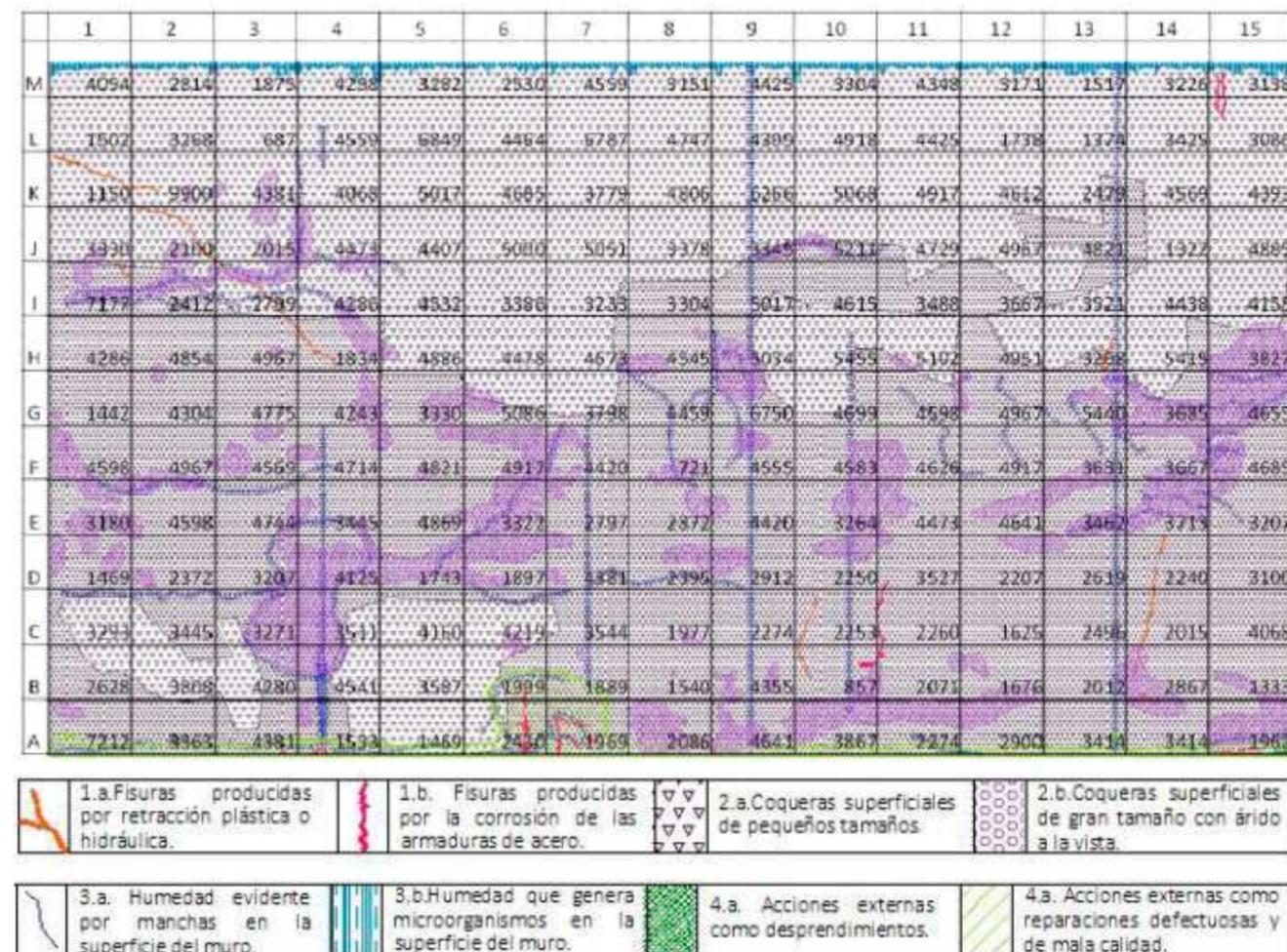


Fig. 66. Cartografía detección visual superpuesta con Velocidades Ultrasónicas.

Conclusiones particulares

Viendo el grafico de cartografía de ultrasonido podemos decir que la muestra tiene una distribución normal, ya que el 72% de los resultados se encuentran entre 2332 m/s y 5068 m/s.

- El mínimo valor registrado es de 687 m/s, cuadrante L3.
- El máximo valor registrado es de 9900 m/s, cuadrante K2.
- El valor promedio de la muestra es de 3700 m/s.
- La desviación estándar es de 1368 m/s aproximadamente.

Es posible reconocer en la comparativa anterior que las velocidades son tan cambiantes como cantidad de defectos que se han registrado en la detección visual, cabe destacar que las velocidades tienden a subir en aquellos cuadrantes donde solo se percibe un solo defecto, disminuyendo en aquellos que presentan mayor cantidad de desperfectos. También se detectaron excepciones "tales como la registrada en el cuadrante A1 con una velocidad alta de 7212 m/s, probablemente influenciada por la presencia de mortero de reparación que como se comentó anteriormente es muy poco poroso y denso, lo que genera una mejor transmisión de la onda ultrasónica".[19]

7.4.4. Cartografía Esclerómetro

Como se explicó en el capítulo de ensayos, los valores obtenidos a través del esclerómetro se encuentran en un buen rango, superando la media con creces la resistencia de diseño, aunque cabe destacar que en las zonas donde se han hecho reparaciones, la resistencia es mucho menor. En este último caso no podemos asegurar que los valores sean reales ya que la reparación con morteros puede generar una variación en los resultados obtenidos en esas zonas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M	40,00	41,33	39,33	42,67	41,33	40,67	39,33	39,33	36,67	40,00	40,00	40,67	40,00	39,33	38,67
L	40,67	42,00	42,67	39,33	38,67	42,00	38,33	40,33	40,00	41,67	39,00	37,00	36	36,67	40,00
K	42,00	39,67	43,67	38,33	40,33	41,00	42,67	38,33	39,33	37,00	34,66	35,66	38,00	36,33	37,33
J	38,67	31,66	37,67	39,00	40,33	42,67	39,33	40,00	44,00	38,67	44,67	43,00	45,00	42,33	40,33
I	49,33	44,00	39,67	45,00	44,00	44,67	44,67	45,33	44,00	44,00	45,33	43,33	42,33	41,67	43,33
H	41,67	45,00	45,67	43,00	43,67	44,33	44,00	43,67	42,67	41,00	43,00	41,00	39,00	44,00	37,67
G	42,33	44,67	45,33	43,33	42,00	44,67	51,33	44,33	38,00	46,00	43,00	38,33	42,33	41,67	37,33
F	41,33	43,67	45,33	50,33	46,33	46,33	43,33	46,66	49,66	46,33	41,67	46,00	40,67	40,00	41,33
E	41,67	45,00	43,33	49	44,67	42,67	45,67	49,66	42,67	36,67	38,67	43,00	39,67	38,33	36,67
D	40,00	44,67	49,66	41,33	42,33	42,00	41,00	44,67	42,67	42,67	45,33	42,33	44,67	42,00	40,67
C	43,00	43,33	45,00	36	42,67	38,33	40,33	39,33	40,00	40,33	41,00	43,67	43,33	42,00	41,33
B	36,33	42,67	40,00	36	40,33	37,67	37,67	39,33	40,67	38,33	40,67	38,67	43,00	37,33	41,00
A	43,00	38,33	43,00	44,33	36,67	36,67	33	45,67	35,33	36,33	36,33	37,67	43,00	46	41,67

Fig. 67. Tabla de datos obtenidos a través del ensayo de esclerómetro.

CLASIFICACION DEL HORMIGON SEGÚN SU VALOR DE REBOTE

VALOR DE REBOTE	N/mm ² (aprox)
>50	50
45 > V > 50	45
40 > V > 45	38
35 > V > 40	30
V < 35	25

Fig. 68

CLASIFICACION	CANT.	VALOR DE REBOTE	COLOR
BAJA	47	31,67 – 39	
MEDIA BAJA	49	39,33 – 41,33	
MEDIA ALTA	52	41,67 – 43,67	
ALTA	47	44 – 51,33	

Fig. 69

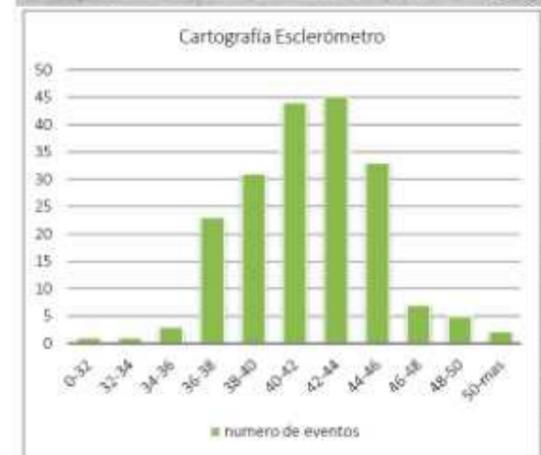


Fig. 70

A continuación se superponen los resultados obtenidos mediante el ensayo de esclerómetro y detección visual, para poder realizar una relación entre ellos y comprobar que las distintas anomalías detectadas por una técnica se hace presente mediante algún tipo de manifestación en la detección visual.

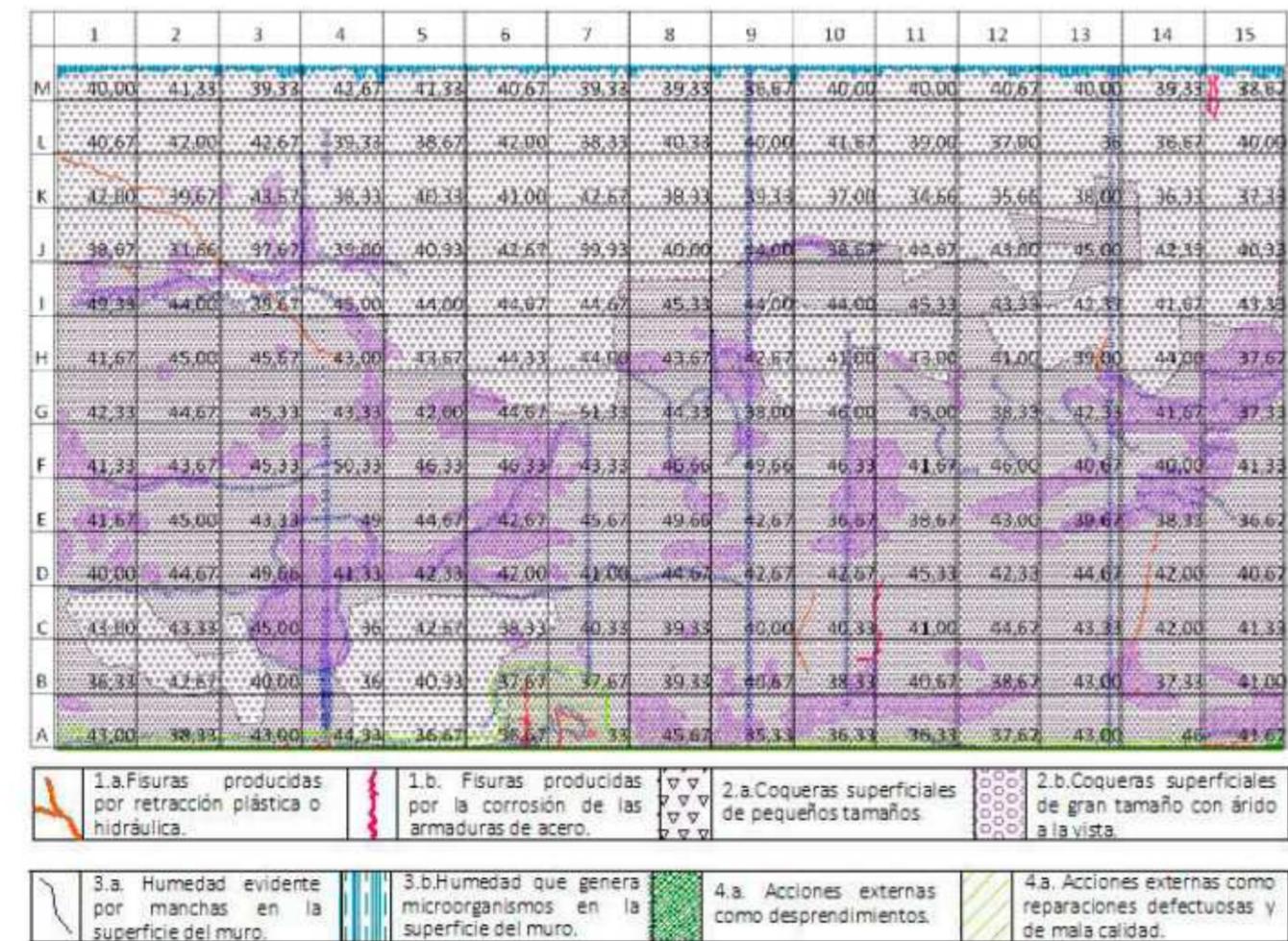


Fig. 71. Cartografía detección visual superpuesta con Valores de Rebote.

Conclusiones particulares

Los valores de rebote obtenidos durante las pruebas, tienen una distribución normal, considerando que más del 60% están alrededor de la media, entre los valores de 36 y 44.

-El mínimo valor registrado es de 31,67, cuadrante J2.

-El máximo valor registrado es de 51,33, cuadrante G7.

-El valor promedio de la muestra es de 41,49.

-La desviación estándar es de 3,32 aproximadamente.

Comparando los datos obtenidos en esta prueba con los de detección visual, detectamos que los valores más bajos coinciden con la ubicación de las reparaciones de morteros, en el borde inferior, y con la zona que presenta mayor número de coqueras.

Entre las files E - I es donde se concentran los valores superiores, coincidiendo con la zona que presenta coqueras en las que se queda visto el árido. Cabe destacar que estos áridos presentan dimensiones superiores a las especificadas en su diseño, donde el tamaño del árido debía ser inferior a 20 mm, con un recubrimiento de 3,5 cm.

7.5. Relaciones sincrónicas entre métodos y conclusiones.

En este apartado analizaremos la relación que presentan los distintos ensayos. *“Finalmente, se revisará la posible relación sincrónica que tienen los resultados obtenidos con los diferentes métodos no destructivos de medición utilizados. Para esto se han reunido, los datos registrados en una única tabla, de la cual se rescatarán aquellos cuadrantes que contienen coincidencias según la clasificación por color que se explicó anteriormente, la que está dividida en 4 cuadrantes de tonos grises. De esta manera tendremos aquellos que tienen 3 coincidencias, 2 coincidencias o ninguna. La primera columna corresponde a los valores de velocidad de ultrasonido, la segunda columna a los valores de rebote registrados con esclerómetro y la tercera columna a los valores de resistividad eléctrica. Con color azul se han marcado aquellos que encontramos con 3 coincidencias. Con color naranja se marcaron aquellos que tienen 2 coincidencias”.* [20]

En las siguientes páginas se muestra la tabla de coincidencias, aunque como resultado final podríamos decir que:

-Existen 10 casillas en las que los 3 valores son coincidentes, representando el 5,12%

-Existen 111 casillas en las que 2 valores son coincidentes, representando el 56,92%

-Existen 74 casillas en las que ningún valor es coincidente, representando el 37,96%

	1			2			3			4			5			6			7		
M	4.054	40	26	2.814	41	21	1.875	39	26	4.298	43	22	3.282	41	24	2.530	41	44	4.559	39	14
L	1.502	41	9	3.268	42	14	687	43	12	4.559	39	20	6.849	39	16	4.464	42	15	6.787	38	17
K	1.150	42	33	9.900	40	51	4.381	44	39	4.068	38	41	5.017	40	23	4.685	41	23	3.779	43	21
J	3.330	39	299	2.100	32	211	2.015	38	260	4.473	39	136	4.407	40	151	5.000	43	275	5.051	39	287
I	7.177	49	387	2.412	44	316	2.799	40	193	4.286	45	263	4.532	44	264	3.386	45	307	3.233	45	286
H	4.286	42	36	4.854	45	28	4.967	46	41	1.834	43	43	4.886	44	54	4.478	44	48	4.673	44	37
G	1.442	42	29	4.304	45	33	4.775	45	61	4.243	43	69	3.330	42	65	5.086	45	57	3.798	51	36
F	4.598	41	22	4.967	44	38	4.569	45	68	4.714	50	71	4.821	46	48	4.917	46	67	4.420	43	64
E	3.180	42	39	4.598	45	46	4.744	43	52	3.445	49	66	4.869	45	68	3.322	43	142	2.797	46	53
D	1.469	40	33	2.372	45	45	3.207	50	53	4.125	41	55	1.743	42	103	1.897	42	99	4.381	41	104
C	3.293	43	196	3.445	43	653	3.271	45	379	3.511	36	178	4.160	43	772	4.219	38	350	3.544	40	291
B	2.628	36	160	3.808	43	481	4.280	40	112	4.541	36	113	3.587	40	157	1.999	38	192	1.889	38	369
A	7.212	43	29	3.363	38	88	4.381	43	55	1.533	44	51	1.469	37	62	2.430	37	184	1.969	33	1.130
3 COINCIDENCIAS	1			0			0			0			0			0			0		
2 COINCIDENCIAS	7			8			11			8			11			9			7		
SIN COINCIDENCIAS	5			5			2			5			2			4			6		
TOTAL	10		5,12%																		
TOTAL	111		56,92%																		
TOTAL	74		37,96%																		

	8			9			10			11			12			13			14			15		
M	3.151	39	15	4.425	37	16	3.304	40	14	4.348	40	21	3.171	41	15	1.517	40	17	3.226	39	15	3.138	39	14
L	4.747	40	20	4.399	40	9	4.918	42	25	4.425	39	21	1.738	37	34	1.374	36	24	3.425	37	17	3.086	40	14
K	4.806	38	22	6.266	39	22	5.068	37	196	4.917	35	108	4.612	36	122	2.479	38	100	4.569	36	15	4.393	37	234
J	3.378	40	446	3.345	44	396	5.211	39	210	4.729	45	412	4.967	43	364	4.821	45	354	1.322	42	372	4.885	40	439
I	3.304	45	304	5.017	44	121	4.615	44	287	3.488	45	193	3.667	43	333	3.521	42	395	4.438	42	203	4.155	43	266
H	4.545	44	32	5.034	43	33	5.455	41	40	5.102	43	43	4.951	41	48	3.268	39	46	5.415	44	41	3.827	38	104
G	4.459	44	29	6.750	38	59	4.699	46	43	4.598	43	53	4.967	38	50	5.440	42	71	3.685	42	98	4.655	37	113
F	721	47	55	4.555	50	33	4.583	46	48	4.626	42	55	4.917	46	74	3.631	41	76	3.667	40	41	4.685	41	55
E	2.872	50	46	4.420	43	36	3.264	37	78	4.473	39	131	4.641	43	168	3.462	40	147	3.713	38	59	3.207	37	94
D	2.395	45	62	2.912	43	62	2.250	43	84	3.527	45	61	2.207	42	86	2.619	45	42	2.240	42	48	3.100	41	71
C	1.977	39	289	2.274	40	274	2.253	40	319	2.260	41	299	1.625	45	471	2.496	43	421	2.015	42	122	4.068	41	869
B	1.540	39	183	4.355	41	409	857	38	105	2.071	41	490	1.676	39	284	2.012	43	271	2.867	37	248	1.333	41	447
A	2.086	46	157	4.641	35	355	3.867	36	279	2.274	36	1.035	2.900	38	202	3.414	43	150	3.414	46	150	1.962	42	235
3 COINCIDENCIAS	0			0			0			1			1			3			2			2		
2 COINCIDENCIAS	6			6			5			5			8			4			8			8		
SIN COINCIDENCIAS	7			7			8			7			4			6			3			3		
TOTAL	10		5,12%																					
TOTAL	111		56,92%																					
TOTAL	74		37,96%																					

Al superponer la imagen general del muro analizado, se puede apreciar la distribución de aquellos cuadrantes que presentan coincidencias, ubicándose mayoritariamente en el borde derecho aquellos que presentan 3 coincidencias, salvo el cuadrante I1, como también se puede ver que aquellos cuadrantes que tienen 2 coincidencias (color naranja) marcan aquellas zonas que presentan mayores coexistencias de defectos.

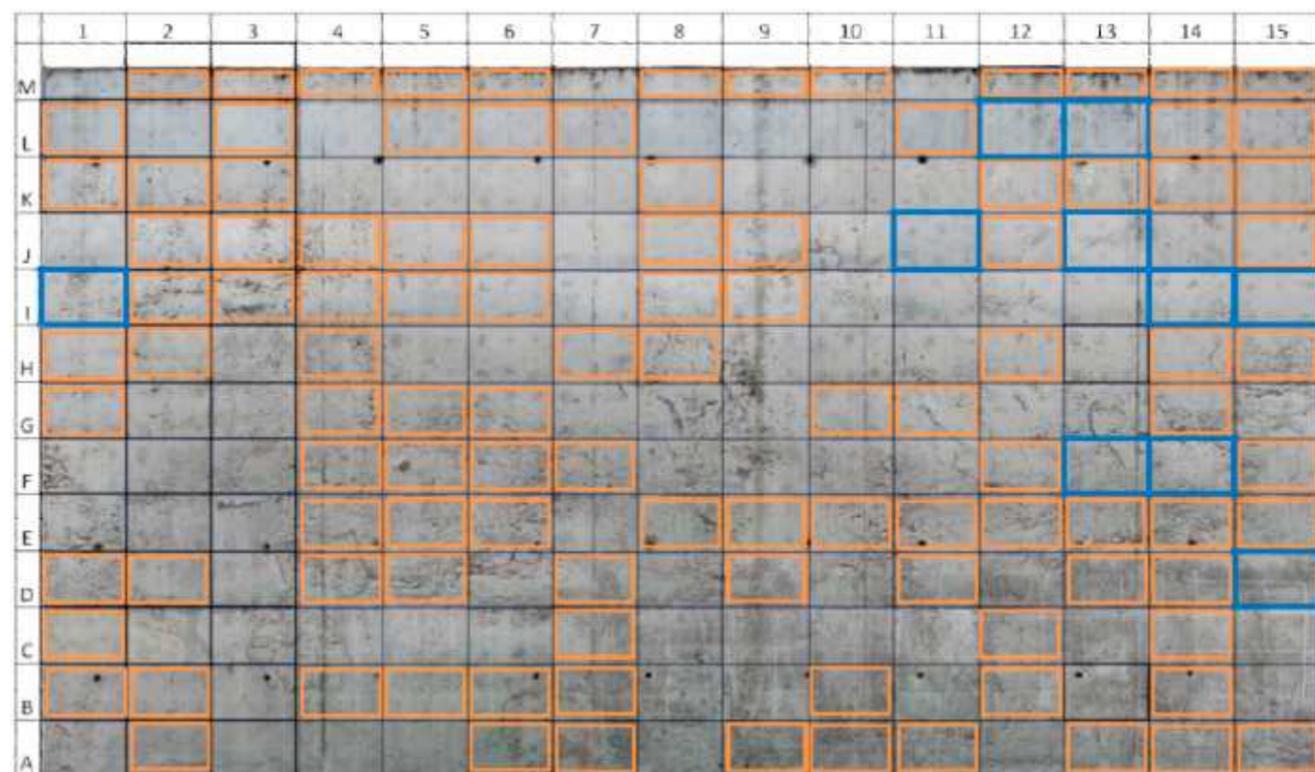


Fig. 73. Tabla de número de coincidencias de datos con comparación sobre imagen del espécimen

“En esta cartografía de detección visual, al sobreponerla con la ubicación de los cuadrantes que presentan coincidencias se puede apreciar que la mayoría de estos con 2 coincidencias se ubican en cuadrantes que presentan defectos simultáneos como humedades, coqueras, áridos vistos, microorganismos como es el caso del borde superior o reparaciones como en el borde inferior del muro. Son menos los cuadrantes señalados que se ubiquen en zonas regulares, o con solo 1 defecto, como las comprendidas entre las columnas 5 – 7 y las filas I – L, por ejemplo”. [21]

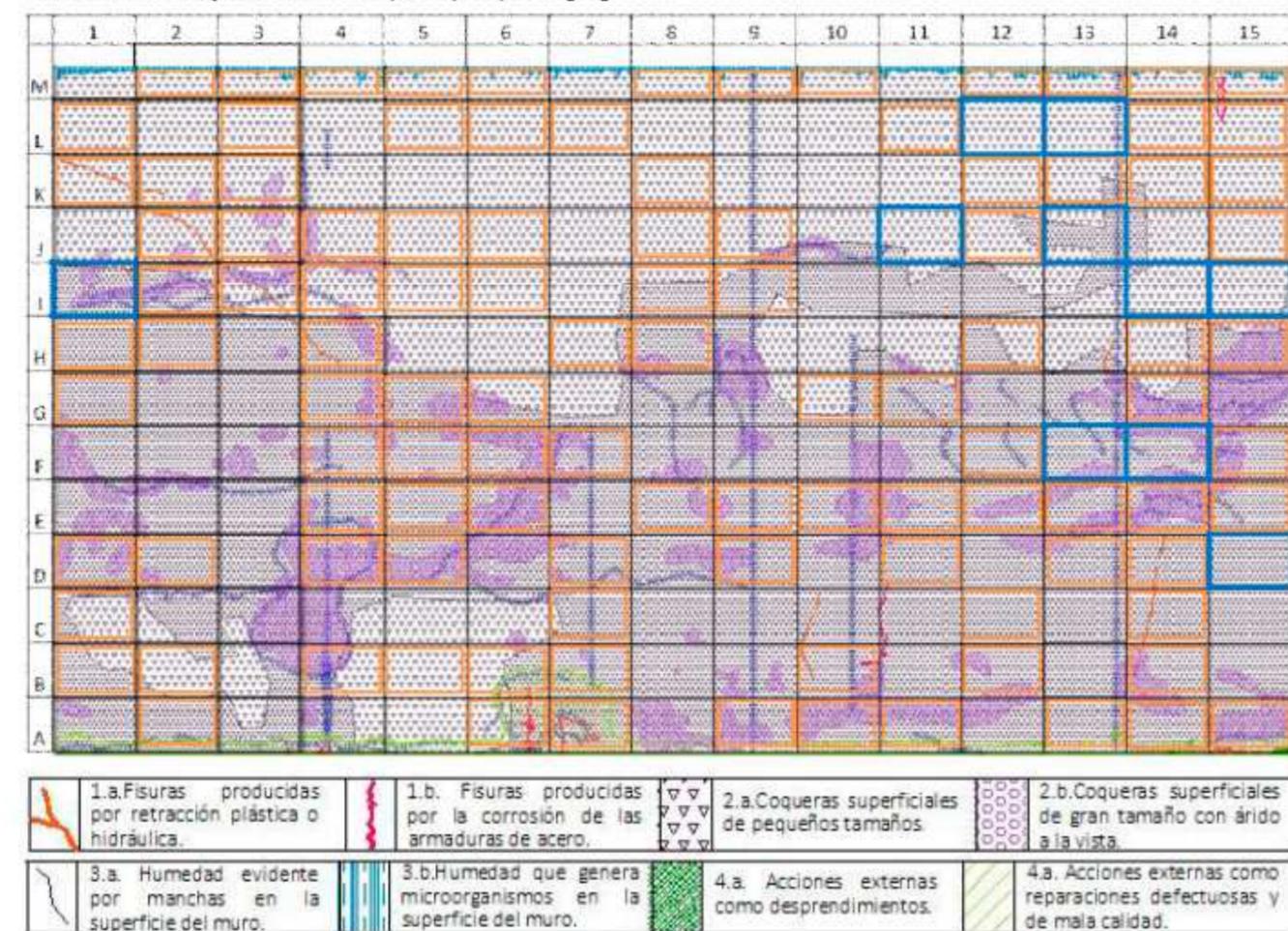


Fig. 74

Los cuadrantes de dos coincidencias tienen la siguiente distribución:

CLASIFICACION	BAJA	MEDIA BAJA	MEDIA ALTA	ALTA	TOTAL	PORCENTAJE
Velocidad Ultrasónica/ Resistividad Eléctrica	9	10	12	5	36	32,44%
Velocidad Ultrasónica/ Valor de Rebote	12	12	11	14	49	44,14%
Resistividad Eléctrica/ Valor de Rebote	8	5	7	6	26	23,42%
TOTAL	29	27	30	25	111	
PORCENTAJE	26,13%	24,33%	27,02%	22,52%		100%

Fig. 75

Finalmente, comparando la tabla anterior, podemos deducir que existe una mayor relación entre los ensayos de esclerometría y ultrasonidos, con un total de 49 coincidencias frente a las 111 casillas que presentan 2 coincidencias, lo que representa una relación de los ensayos del 44,14%.

Si seguimos analizando la tabla, podemos ver que por debajo de la relación anterior, está la relación entre el ultrasonido y la resistividad eléctrica, lo que representa una relación total del 32,44%.

Por último, la menor relación entre los ensayos con un 23,42% de coincidencias se encuentra la relación entre la esclerometría y la resistividad eléctrica.





Fig. 76

8. Conclusiones

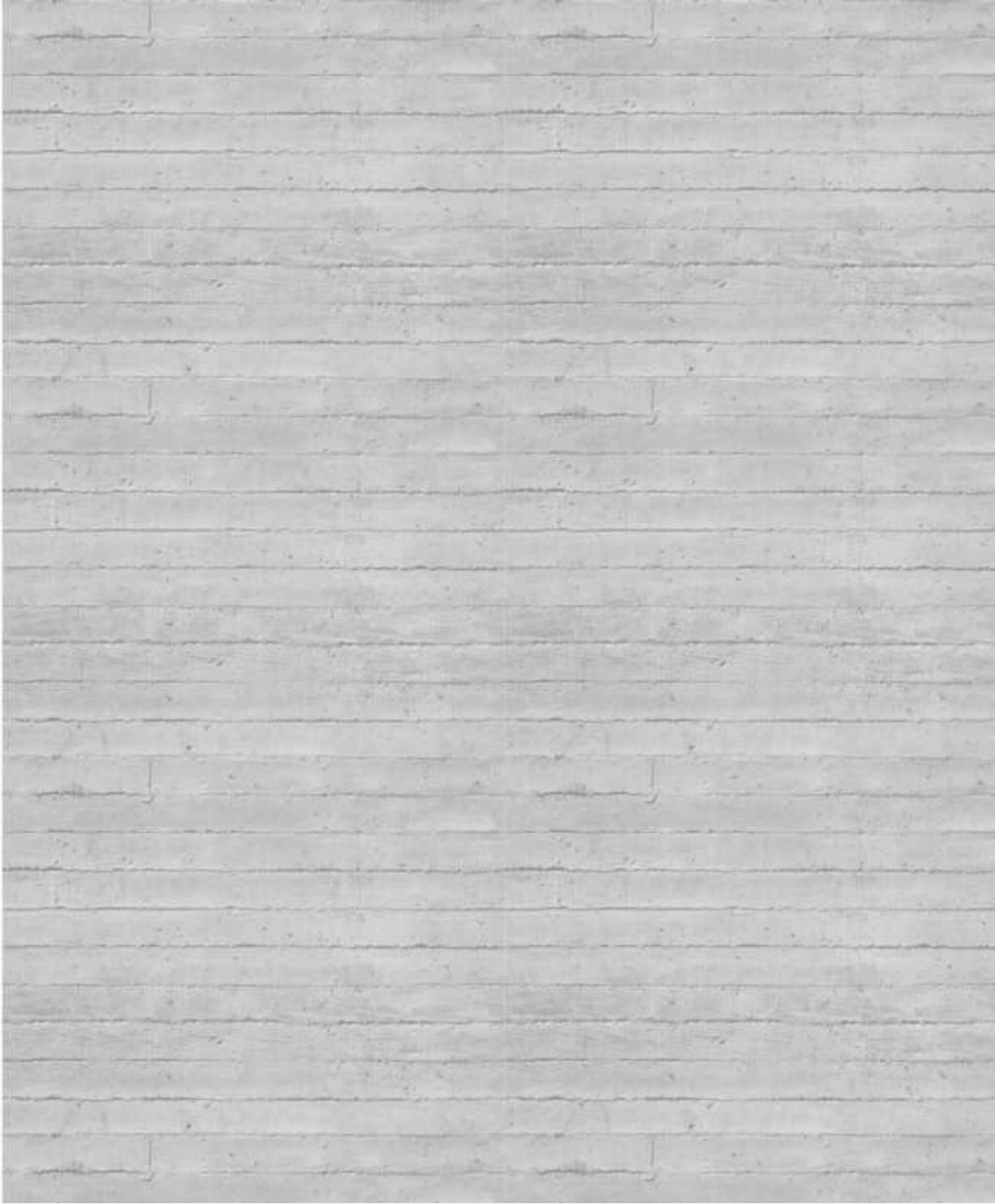
8.1. Conclusiones generales

En líneas generales, este trabajo de fin de grado me ha llevado a distintas conclusiones. En primer lugar, hay que destacar que **las técnicas no destructivas son un medio rápido y económico para la detección de lesiones en hormigón armado**; rápido porque los datos son adquiridos instantáneamente en el campo de análisis y económicos porque la única inversión es la adquisición de esas herramientas, una vez obtenidas no es necesario invertir nuevamente para realizar más pruebas.

Otro de los aspectos a destacar, y que me ha llamado la atención, es la **cantidad de estudios que se han generado en los últimos años acerca de estas técnicas**, estudios que están clarificando la aplicación de estas técnicas y avalando sus resultados. Es cierto que la construcción en hormigón ha sufrido un gran desarrollo desde sus inicios hasta ahora, pero nunca, **o en pocas ocasiones, nos habíamos preocupado tanto por su mantenimiento**. Actualmente vivimos en una sociedad en la que poco a poco nos damos cuenta que los recursos con los que contamos son limitados, y que debemos mantener lo construido el mayor tiempo posible para agotar el ciclo de vida de estos materiales, por ello, estas técnicas favorecen el uso eficiente de los recursos y permite agotarlos hasta su final.

Igualmente cabe destacar, que a pesar de no haber podido experimentar las probetas fabricadas debido a la situación de pandemia que afecta al mundo entero, **he adquirido una serie de conocimientos en la fabricación de las mismas que valoro positivamente**, ya que esos conocimientos no los hubiera adquirido si no hubiera decidido realizar este Trabajo Fin de Grado.

Para finalizar este apartado de conclusiones generales, añadir que, gracias a la redacción e investigación llevada a cabo para este TFG he podido conocer en profundidad acerca de las técnicas que se utilizan para la detección de lesiones en hormigón armado, y no solo eso, sino **que he aprendido a conocer mejor este material de construcción**, analizando las evoluciones que ha sufrido este material a lo largo de la historia. Material que se usa frecuentemente y que esconde grandes complejidades aún por analizar.



8.2. Conclusiones específicas

Respecto a las conclusiones específicas, estas se centran en las conclusiones obtenidas principalmente del apartado de revisión de la literatura y del análisis del caso de estudio:

- En primer lugar, cabe decir que la búsqueda de artículos para la **revisión de la literatura científica** ha arrojado muchos más resultados de los esperados, son **muchos los artículos que se han añadido recientemente** y que aclaran muchos conceptos sobre estas técnicas.
- Cabe destacar igualmente que las técnicas estudiadas me han clarificado el uso de **distintos aparatos de medida** y he podido conocer, gracias a esa revisión, las principales lesiones que se producen en hormigón y sus principales causas.
- En cuanto a la revisión de la literatura, después de analizar las diferentes técnicas, me he dado cuenta que son **técnicas económicas y rápidas**, y que favorecen el agotamiento de su vida útil, **facilitando una eficiencia de estos materiales** muy por encima de otras técnicas destructivas.
- Referente al **análisis del caso de estudio** cabe destacar que ha sido, para mí, uno de los puntos más importantes de este trabajo, ya que me ha servido para **conocer como interactúan todas las técnicas conjuntamente**, y además, he podido comprobar su rigor a través de la comparación de los resultados obtenidos.
- Por último, decir que el análisis del caso de estudio me ha servido para conocer que las **principales causas del deterioro** de los elementos de hormigón armado son los **fallos producidos en su ejecución**. Los operarios que se dedican a esas labores no conocen las propiedades físicas al 100% de este material, algo que se podría solucionar con una intensa dirección de obra para solventar problemas y evitar futuras lesiones.

8.3. Futuras líneas de investigación

Pese al gran contenido que abarca este Trabajo Fin de Grado, no se ha podido llegar un nivel de desarrollo avanzado debido a la escasez de tiempo y a las contingencias que nos hemos encontrado en este semestre tan especial, es por ello que se proponen las siguientes futuras líneas de investigación:

- En primer lugar, concluir con la fase experimental inicialmente prevista y la obtención de resultados de los ensayos que se tenían planteados y que no se han realizado debido a la pandemia Covid-19 que estamos viviendo.
- En segundo lugar, se propone realizar nuevos ensayos sobre probetas, pero con la utilización de diferentes espesores y diferentes tipos de cementos. Igualmente, con la posibilidad de aplicar otra serie de técnicas no destructivas que complementen a las anteriores.
- Por último, como última línea de investigación, propongo la realización de una revisión de la literatura mucho mas pormenorizada que estudie los avances de las diferentes técnicas de forma particular y su aplicabilidad en cooperación.





Fig. 77

9. Bibliografía

9.1. Referencias bibliográficas

[1] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 23).

[2] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 24).

[3] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 25).

[4] Francisco Hostalet Alba (1994) "Situación actual de las técnicas de ensayo no destructivo del hormigón" ETSICCP-Barcelona (pag. 2).

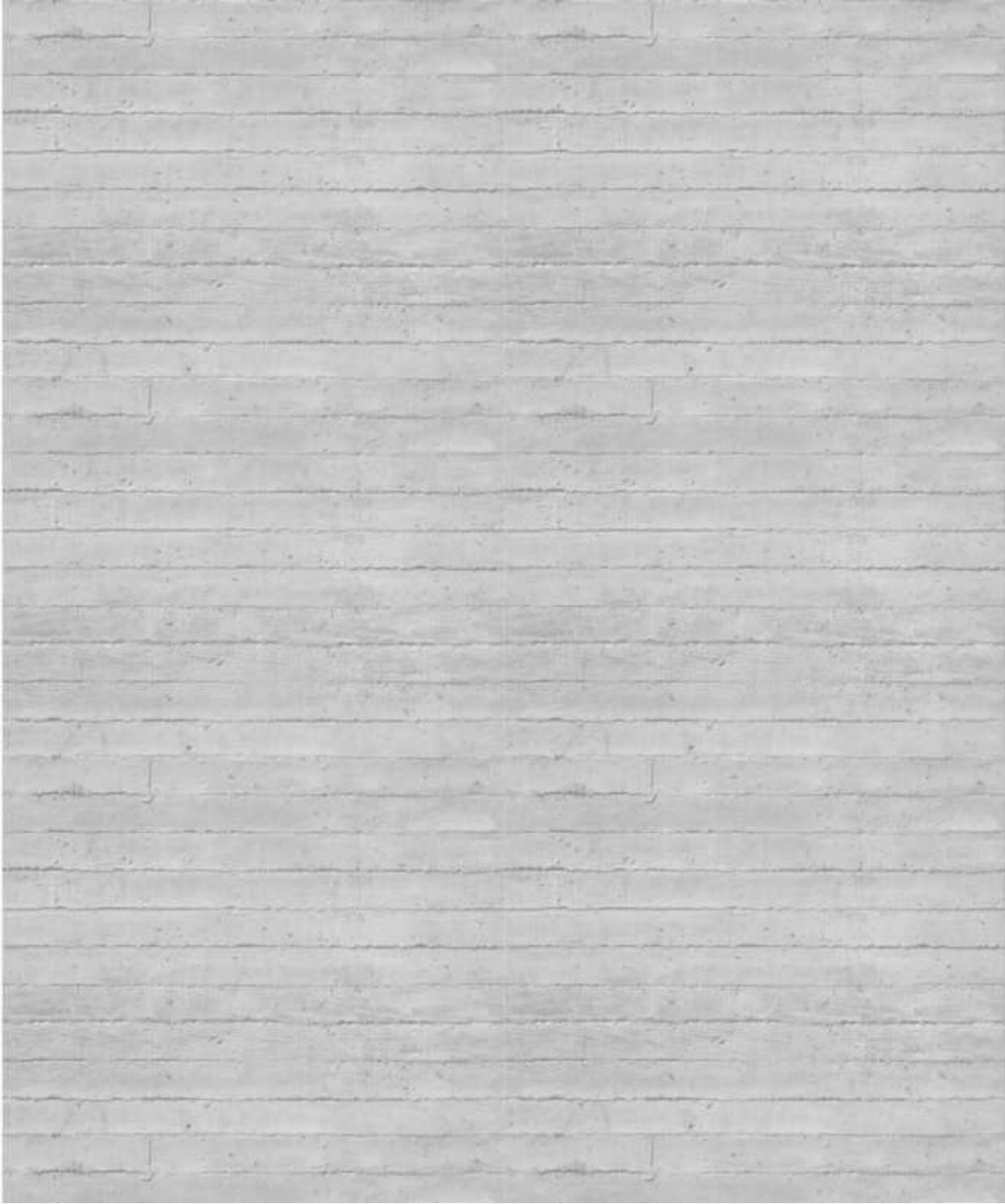
[5] Shuhei Hiasa, Recep Birgul y F. Necati Catbas (2016) "A data processing methodology for infrared thermography images of concrete bridges" University of Central Florida (pag. 2).

[6] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 22).

[7] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 43).

[8] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 50).

[9] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 38).



[10] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 62).

[11] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 66).

[12] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 67).

[13] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 67).

[14] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 68).

[15] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 70).

[16] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 72).

[17] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 76).

[18] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 79).

[19] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 82).

[20] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 87).

[21] Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya (pag. 89).

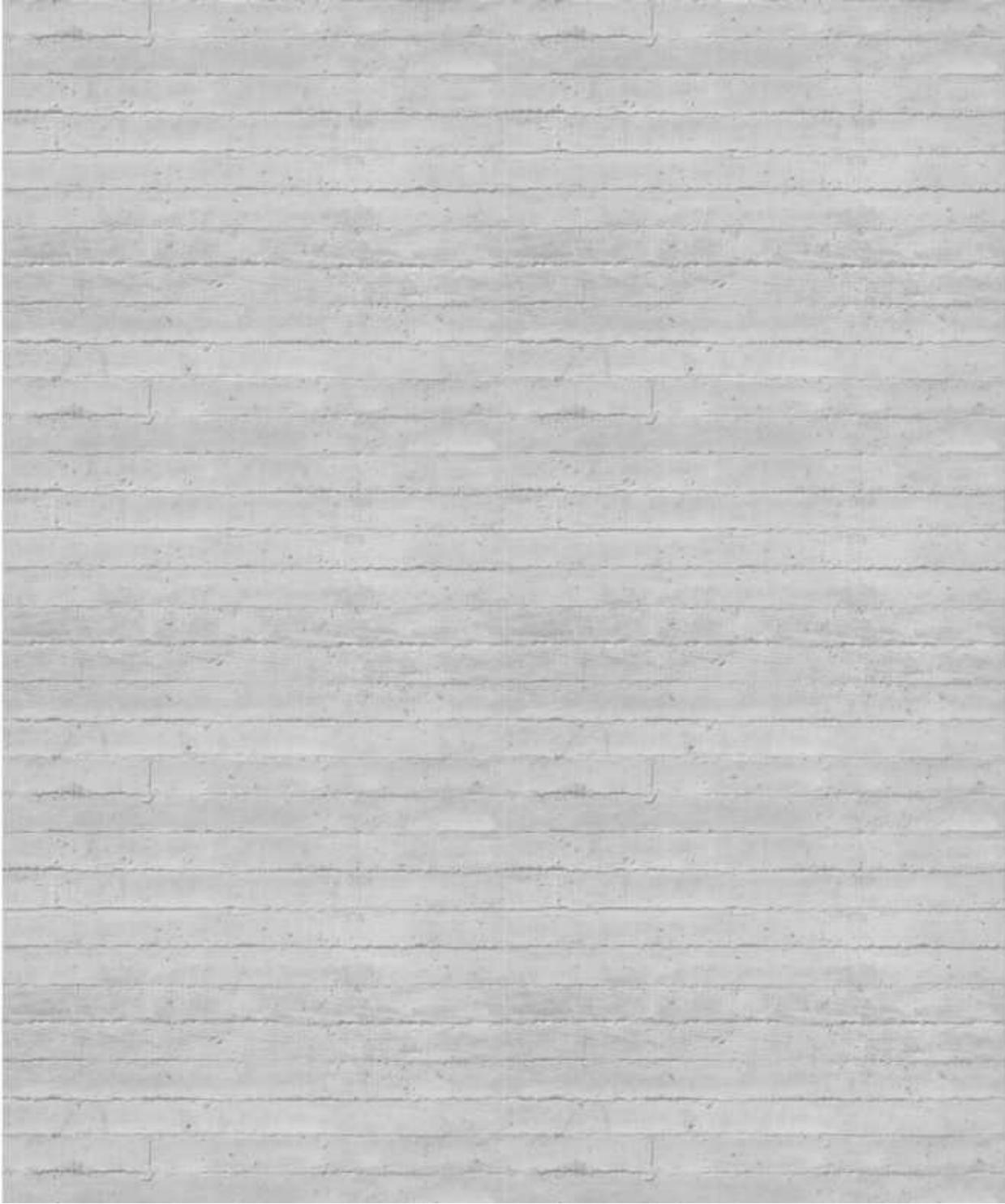
9.2. Bibliografía

Francisco Hostalet Alba (1994). "Situación actual de las técnicas de ensayo no destructivo del hormigón" INTEMAC - Barcelona.

Eva Barreira y Vasco P. de Freitas (2004) "Evaluation of building materials using infrared thermography" Universidade do Porto.

Xavier De'robert, Jean laquina, Gilles Klysz y Jean-Paul Balayssac (2007). "Use of capacitive and GPR techniques for the non-destructive evaluation of cover concrete" LCPC, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex, France

Ercolani, G.D., Ortega N.F. y Señas L (2007). "Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas" Universidad Nacional del Sur, Argentina.



D.G. Aggelis, E.Z. Kordatos, E.Z. Kordatos y T.E. Matikas (2009). "Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete" University of Ioannina, Greece.

C. Lerma, Á. Mas, E. Gil, J. Vercher y M.J. Peñalver (2012). "Pathology of building materials in historic buildings. Relationship between laboratory testing and infrared thermography" Universitat Politècnica de València.

Silvana Flores Larsen y Marcos Hongn (2012). "Termografía infrarroja en la edificación: aplicaciones cualitativas" Universidad Nacional de Salta, Argentina.

S. Lagüela, J. Armesto, P. Arias y J. Herráez (2012). "Automation of thermographic 3D modelling through image fusion and image matching techniques" Universitat Politècnica de València.

Matthew Fox, David Coley, Steve Goodhew y Pieter De Wilde (2012). "Comparing transient simulation with thermography time series" University of Bath, UK.

Nuria González Roura (2013). "Comparación De Técnicas No Destructivas En La Inspección del Hormigón Armado: Georradar Versus Tomografía ultrasónica" Universitat Politècnica de València.

Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Valeria Badilla Eyherregaray (2014). "Correlación de diferentes métodos de detección no destructivos de anomalías en el hormigón" Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Matthew Fox, David Coley, Steve Goodhew y Pieter De Wilde (2014). "Time-lapse thermography for building defect detection" Universidad de plymouth, England.

Saleh Abu Dabous, Salam Yaghi, Sabah Alkass y Osama Moselhi (2015). "Concrete bridge deck condition assessment using IR Thermography and Ground Penetrating Radar technologies" Concordia University, Montreal, Canada.

Shuhei Hiasa, Recep Birgul y F. Necati Catbas (2016). "A data processing methodology for infrared thermography images of concrete bridges" University of Central Florida, USA.

Matthew Fox, Steve Goodhew y Pieter De Wilde (2016). "Building defect detection: External versus internal thermography" Universidad de plymouth, England.

B. Craeye, H. van de Laar, J. van der Eijk, W. Gijbels y L. Lauriks (2017). "On-site strength assessment of limestone based concrete slabs by combining non-destructive techniques" Universidad de Amberes, Bélgica.

Ayca Kirimtat y Ondrej Krejcar (2018). "A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects" University of Hradec Kralove, Czech Republic.

Harsh Rathod y Rishi Gupta (2019). "Sub-surface simulated damage detection using Non-Destructive Testing Techniques in reinforced-concrete slabs" University of Victoria, Canadá.

Michal Janku, Petr Cíkrle, Jir'í Grošek, Ondr'ej Anton y Josef Stryk (2019). "Comparison of infrared thermography, ground-penetrating radar and ultrasonic pulse echo for detecting delaminations in concrete bridges" University of Hradec Kralove, Czech Republic.

9.3. Figuras

Portada. Vista exterior Pabellón de Portugal EXPO 98' (www.plataformaarquitectura.cl).

Fig. 1. Vista de probetas sin desencofrar. Imagen propia.

Fig. 2. Imagen de persona rodeada de hormigón, Edificio Saya Park (www.plataformaarquitectura.cl).

Fig. 3. Vista de probetas sin desencofrar. Imagen propia.

Fig. 4. Vista exterior edificio Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

Fig. 5. Tabla resumen de revisión de la literatura. Elaboración propia.

Fig. 6. Tabla resumen de revisión de la literatura. Elaboración propia.

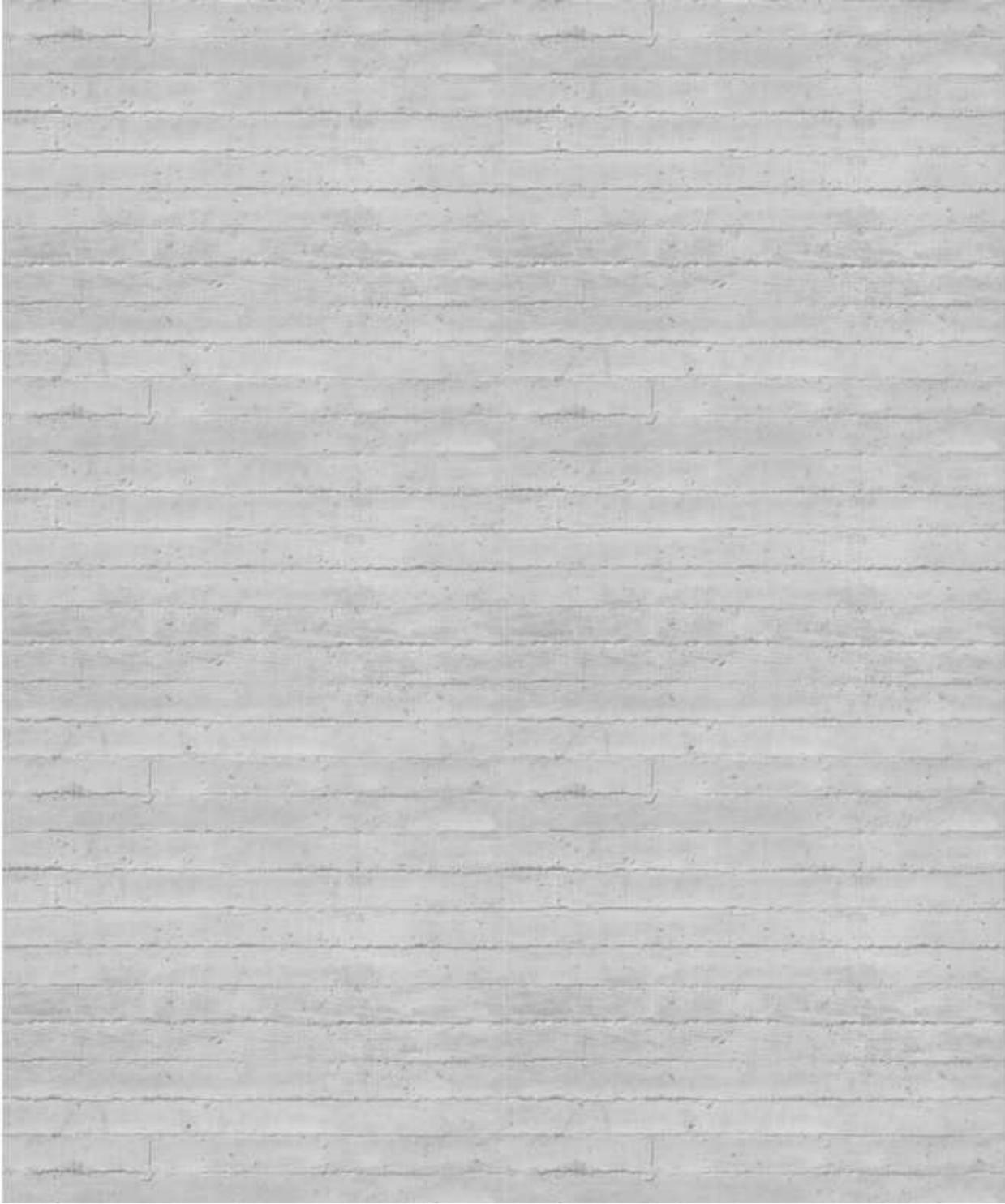


Fig. 7. Tabla de valores de resistividad eléctrica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 8. Vista de probetas sin hormigonar. Imagen propia.

Fig. 9. Modelo 3d de probetas. Elaboración propia.

Fig. 10. Planimetría de probetas. Elaboración propia.

Fig. 11. Despiece sobre tablero OSB. Elaboración propia.

Fig. 12. Fase de ensamblaje. Imagen propia.

Fig. 13. Fase de ensamblaje. Imagen propia.

Fig. 14. Fase de ensamblaje. Imagen propia.

Fig. 15. Fase de ensamblaje. Imagen propia.

Fig. 16. Fase de ensamblaje. Imagen propia.

Fig. 17. Fase de hormigonado. Imagen propia.

Fig. 18. Fase de hormigonado. Imagen propia.

Fig. 19. Fase de vibrado. Imagen propia.

Fig. 20. Fase de hormigonado. Imagen propia.

Fig. 21. Fase de hormigonado. Imagen propia.

Fig. 22. Fase de desencofrado. Imagen propia.

Fig. 23. Vista exterior edificio Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

Fig. 24. Tabla resumen de edificios escogidos. Elaboración propia.

F-1/Fig. 1. Imagen general alzado edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-1/Fig. 2. Alzados edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-1/Fig. 3. Plantas edificio Unidad Habitacional (es.wikiarquitectura.com).

F-1/Fig. 4. Imagen exterior edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-1/Fig. 5. Imagen exterior edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-1/Fig. 6. Imagen exterior edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-1/Fig. 7. Imagen exterior edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-1/Fig. 8. Imagen exterior edificio Unidad Habitacional (www.plataformaarquitectura.cl).

F-2/Fig. 1. Vista general Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

F-2/Fig. 2. Planta general Parlamento de Chandigarh (es.wikiarquitectura.com).

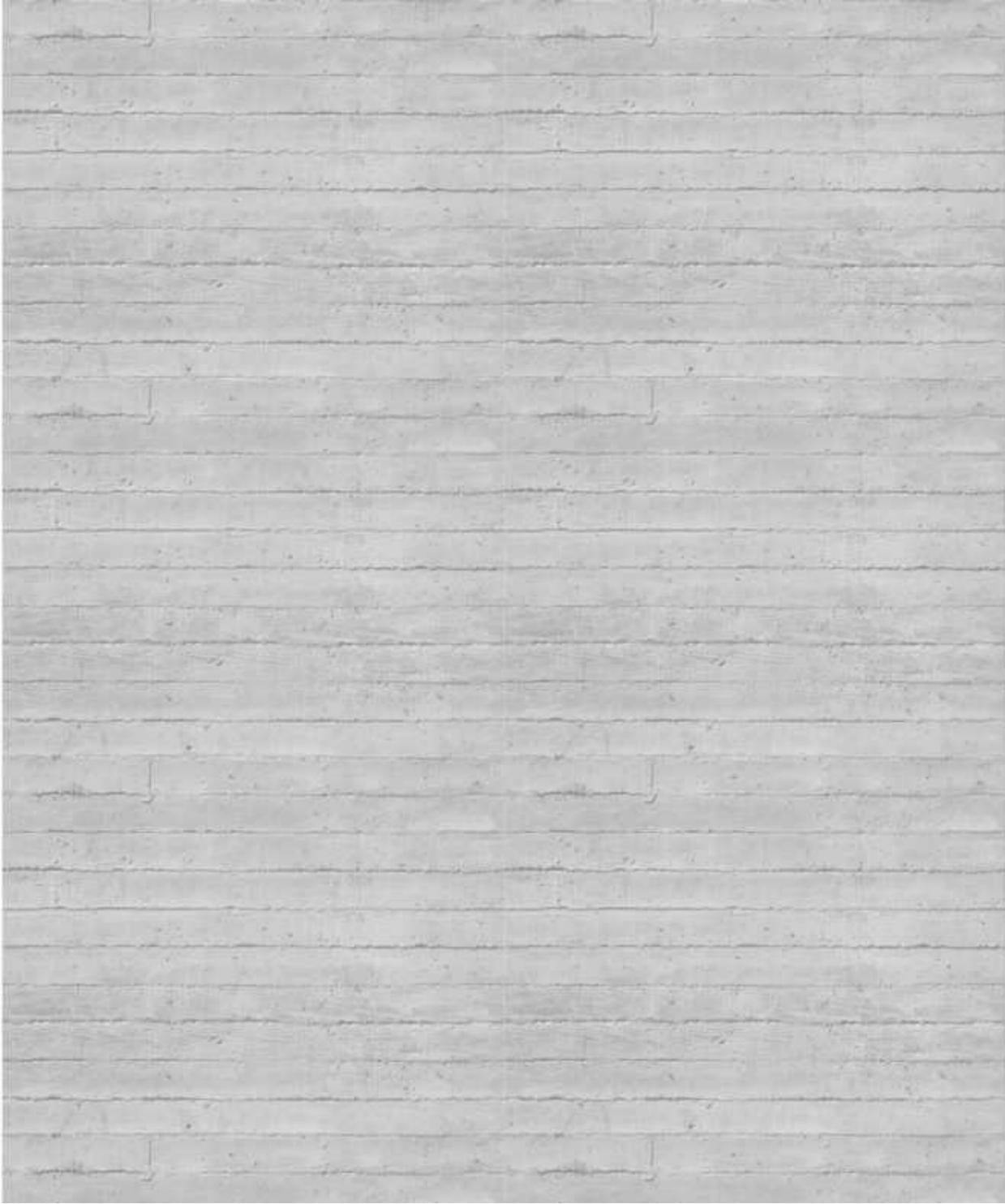
F-2/Fig. 3. Secciones Parlamento de Chandigarh (<http://portfolios.uniandes.edu.co/>).

F-2/Fig. 4. Imagen exterior Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

F-2/Fig. 5. Imagen exterior Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

F-2/Fig. 6. Imagen exterior Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

F-2/Fig. 7. Imagen exterior Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).



F-2/Fig. 8. Imagen exterior Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

F-2/Fig. 9. Imagen exterior Parlamento de Chandigarh (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 1. Entrada del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 2. Planta del Palacio de deportes de Roma (es.wikiarquitectura.com).

F-3/Fig. 3. Sección del Palacio de deportes de Roma (es.wikiarquitectura.com).

F-3/Fig. 4. Secciones constructivas del Palacio de deportes de Roma. Autor desconocido, fecha desconocida, "Control gráfico de formas y superficies de transición".

F-3/Fig. 5. Imagen interior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 6. Imagen interior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 7. Imagen exterior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 8. Imagen exterior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 9. Imagen exterior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 10. Imagen interior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-3/Fig. 11. Imagen exterior del Palacio de deportes de Roma (www.plataformaarquitectura.cl).

F-4/Fig. 1. Vista general del Museo Guggenheim (www.plataformaarquitectura.cl).

F-4/Fig. 2. Planimetría del Museo Guggenheim (es.wikiarquitectura.com).

F-4/Fig. 3. Planimetría del Museo Guggenheim (es.wikiarquitectura.com).

F-4/Fig. 4. Planimetría del Museo Guggenheim (es.wikiarquitectura.com).

F-4/Fig. 5. Imagen interior del Museo Guggenheim (www.plataformaarquitectura.cl).

F-4/Fig. 6. Imagen exterior del Museo Guggenheim (www.plataformaarquitectura.cl).

F-4/Fig. 7. Imagen exterior del Museo Guggenheim (www.plataformaarquitectura.cl).

F-4/Fig. 8. Imagen interior del Museo Guggenheim (www.plataformaarquitectura.cl).

F-4/Fig. 9. Imagen interior del Museo Guggenheim (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 1. Vista general de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 2. Planimetría de la Terminal de la TWA (es.wikiarquitectura.com).

F-5/Fig. 3. Planimetría de la Terminal de la TWA (es.wikiarquitectura.com).

F-5/Fig. 4. Planimetría de la Terminal de la TWA (es.wikiarquitectura.com).

F-5/Fig. 5. Planimetría de la Terminal de la TWA (es.wikiarquitectura.com).

F-5/Fig. 6. Vista general de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 7. Imagen interior de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

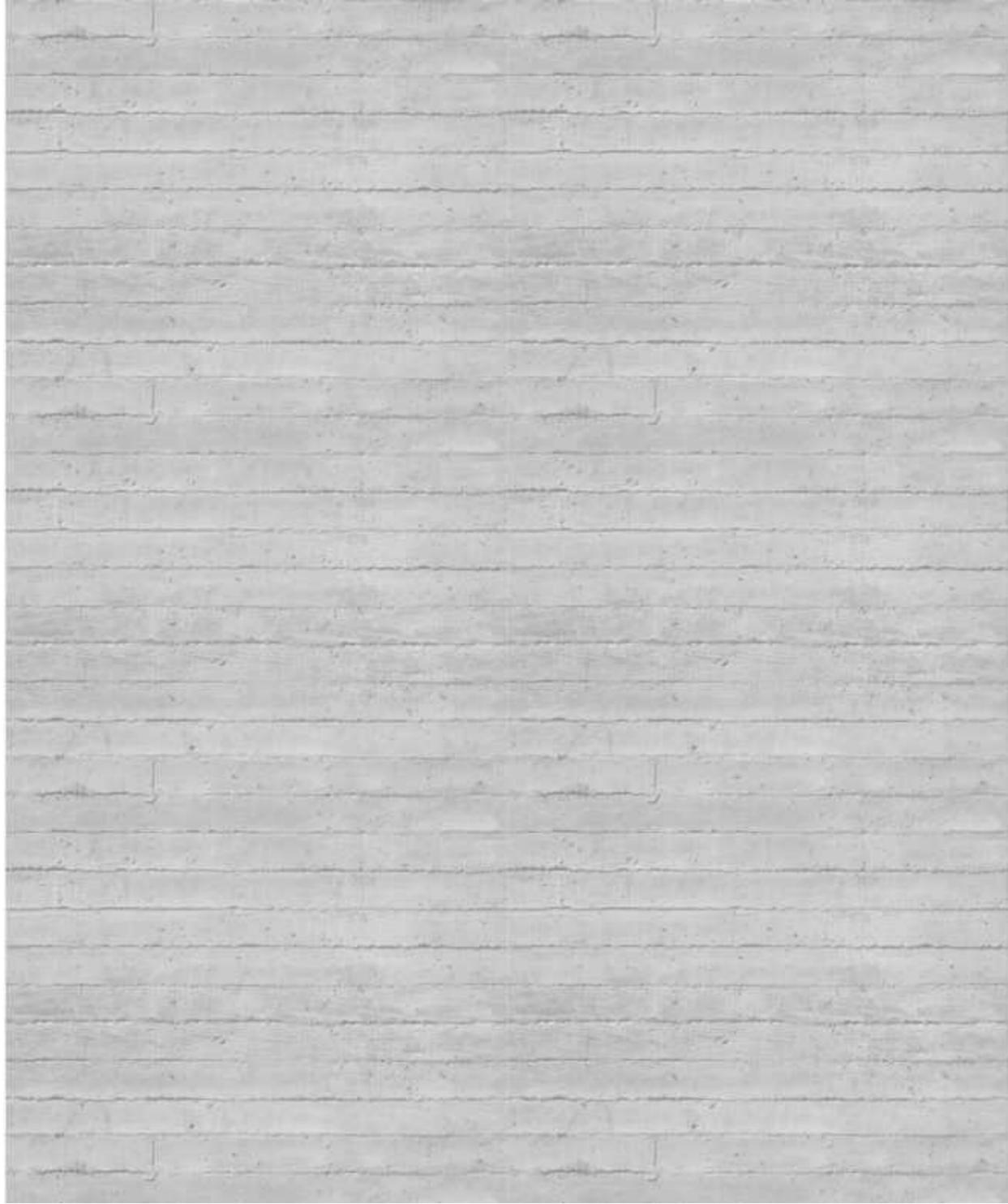
F-5/Fig. 8. Imagen interior de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 9. Imagen interior de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 10. Vista general de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 11. Imagen interior de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-5/Fig. 12. Imagen interior de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).



F-5/Fig. 13. Imagen interior de la Terminal de la TWA (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 1. Vista central del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 2. Planimetría del Instituto Salk de Estudios Biológicos (es.wikiarquitectura.com).

F-6/Fig. 3. Dibujo de ideación del Instituto Salk de Estudios Biológicos (es.wikiarquitectura.com).

F-6/Fig. 4. Dibujo de ideación del Instituto Salk de Estudios Biológicos (es.wikiarquitectura.com).

F-6/Fig. 5. Imagen exterior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 6. Imagen exterior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 7. Imagen exterior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 8. Imagen interior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 9. Imagen exterior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 10. Imagen exterior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 11. Imagen exterior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-6/Fig. 12. Imagen interior del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

F-7/Fig. 1. Vista general de la Catedral de Brasilia (www.plataformaarquitectura.cl).

F-7/Fig. 2. Planimetría de la Catedral de Brasilia (ivansanmartinacademy.files.wordpress.com).

F-7/Fig. 3. Planimetría de la Catedral de Brasilia (esculturasymonumentos.com).

F-7/Fig. 4. Vista general de la Catedral de Brasilia (www.plataformaarquitectura.cl).

F-7/Fig. 5. Imagen interior de la Catedral de Brasilia (www.plataformaarquitectura.cl).

F-7/Fig. 6. Imagen de la Catedral de Brasilia en obras (es.wikiarquitectura.com).

F-7/Fig. 7. Imagen de la Catedral de Brasilia en obras (es.wikiarquitectura.com).

F-7/Fig. 8. Imagen exterior de la Catedral de Brasilia (www.plataformaarquitectura.cl).

F-7/Fig. 9. Imagen interior de la Catedral de Brasilia (www.plataformaarquitectura.cl).

F-7/Fig. 10. Imagen de la Catedral de Brasilia en obras (es.wikiarquitectura.com).

F-7/Fig. 11. Imagen de la Catedral de Brasilia en obras (es.wikiarquitectura.com).

F-8/Fig. 1. Imagen fachada general de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

F-8/Fig. 2. Planimetría de la Catedral de Santa María (es.wikiarquitectura.com).

F-8/Fig. 3. Planimetría de la Catedral de Santa María (es.wikiarquitectura.com).

F-8/Fig. 4. Imagen exterior de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

F-8/Fig. 5. Imagen interior de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

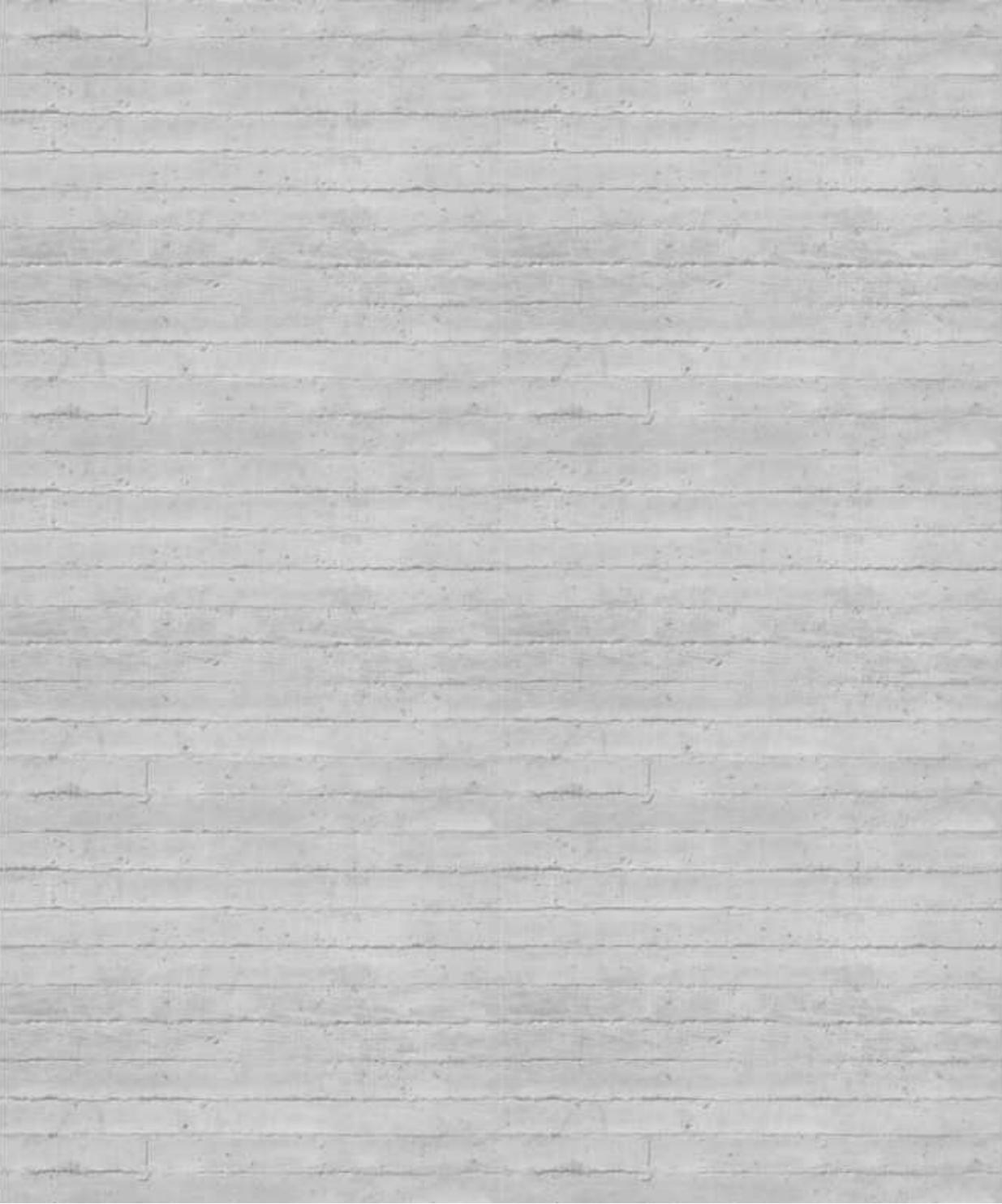
F-8/Fig. 6. Imagen interior de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

F-8/Fig. 7. Imagen exterior de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

F-8/Fig. 8. Imagen interior de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

F-8/Fig. 9. Imagen interior de la Catedral de Santa María (www.plataformaarquitectura.cl).

F-8/Fig. 10. Imagen de la Catedral de Santa María en construcción (es.wikiarquitectura.com).



F-9/Fig. 1. Imagen de los miradores de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 2. Planta tipo Torres blancas (es.wikiarquitectura.com).

F-9/Fig. 3. Alzado de Torres blancas (espaciollenovacio.wordpress.com)

F-9/Fig. 4. Sección de Torres blancas (marginalidadvertical-blog.tumblr.com)

F-9/Fig. 5. Detalle miradores Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 6. Detalle miradores Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 7. Dibujo de Torres blancas (<http://edusanzdai7.blogspot.com/>)

F-9/Fig. 8. Imagen exterior de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 9. Imagen exterior de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 10. Imagen exterior de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 11. Imagen exterior de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 12. Imagen exterior de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-9/Fig. 13. Imagen exterior de Torres blancas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 1. Imagen de la zona de acceso a las Piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 2. Planimetría general de las Piscinas (es.wikiarquitectura.com).

F-10/Fig. 3. Secciones de las Piscinas (es.wikiarquitectura.com).

F-10/Fig. 4. Sección general de las Piscinas (es.wikiarquitectura.com).

F-10/Fig. 5. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 6. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 7. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 8. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 9. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 10. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 11. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-10/Fig. 12. Imagen exterior de las piscinas (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 1. Vista general de la marquesina del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 2. Planta del Pabellón de Portugal (es.wikiarquitectura.com).

F-11/Fig. 3. Alzados y secciones del Pabellón de Portugal (es.wikiarquitectura.com).

F-11/Fig. 4. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

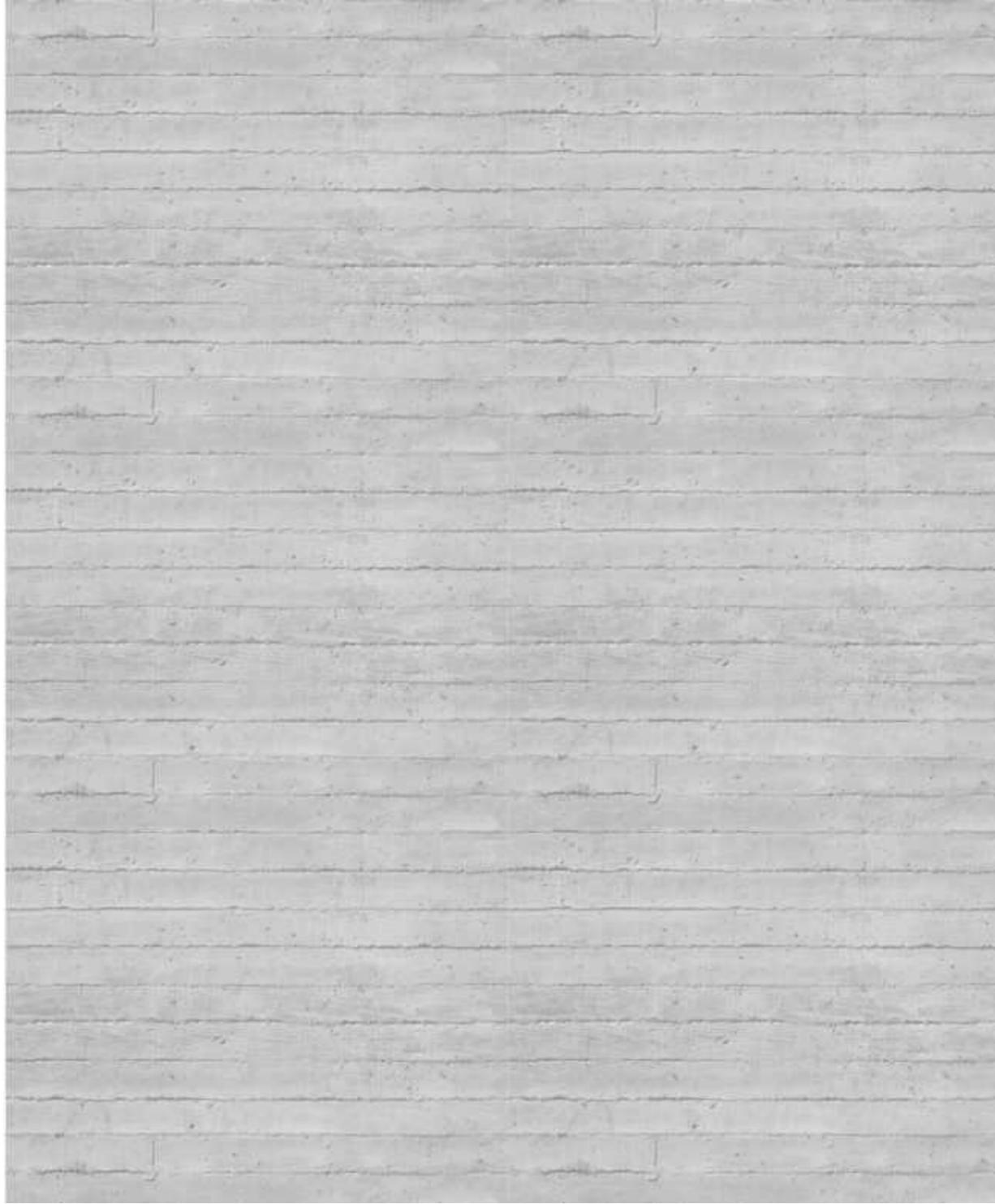
F-11/Fig. 5. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 6. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 7. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 8. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 9. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).



F-11/Fig. 10. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

F-11/Fig. 11. Imagen exterior del Pabellón de Portugal (www.plataformaarquitectura.cl).

Fig. 25. Fachada principal edificio CRITT ETSA de Barcelona (upcommons.upc.edu)

Fig. 26. Detalle constructivo edificio CRITT ETSA de Barcelona. Cely Natali Guerrero Mena (2013). *“Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”*.

Fig. 27. Detalle constructivo edificio CRITT ETSA de Barcelona. Cely Natali Guerrero Mena (2013). *“Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”*.

Fig. 28. Vista nocturna del edificio CRITT ETSA de Barcelona (etsav.upc.edu)

Fig. 29. Muro de cerramiento edificio CRITT ETSA de Barcelona (es.wikipedia.org)

Fig. 30. Vista nocturna del edificio CRITT ETSA de Barcelona (etsav.upc.edu)

Fig. 31. Descomposición en cuadrantes especimen CRITT ETSA de Barcelona. Cely Natali Guerrero Mena (2013). *“Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”*.

Fig. 32. Pachómetro. Cely Natali Guerrero Mena (2013). *“Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”*.

Fig. 33. Pachómetro sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). *“Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”*.

Fig. 34, 35, 36, 37, 38 y 39. Resultados por cuadrantes detección visual. Cely Natali Guerrero Mena (2013). *“Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”*.

Fig. 40. Aparato resistividad eléctrica en agua. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 41. aparato resistividad eléctrica sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 42. Clasificación de probabilidad de corrosión. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 43. Ultrasonidos sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 44. Ultrasonidos sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 45. Ultrasonidos sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 46. Ultrasonidos sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 47. Ultrasonidos en calibración. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 48. Ultrasonidos sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 49. Clasificación del hormigón según velocidad ultrasónica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

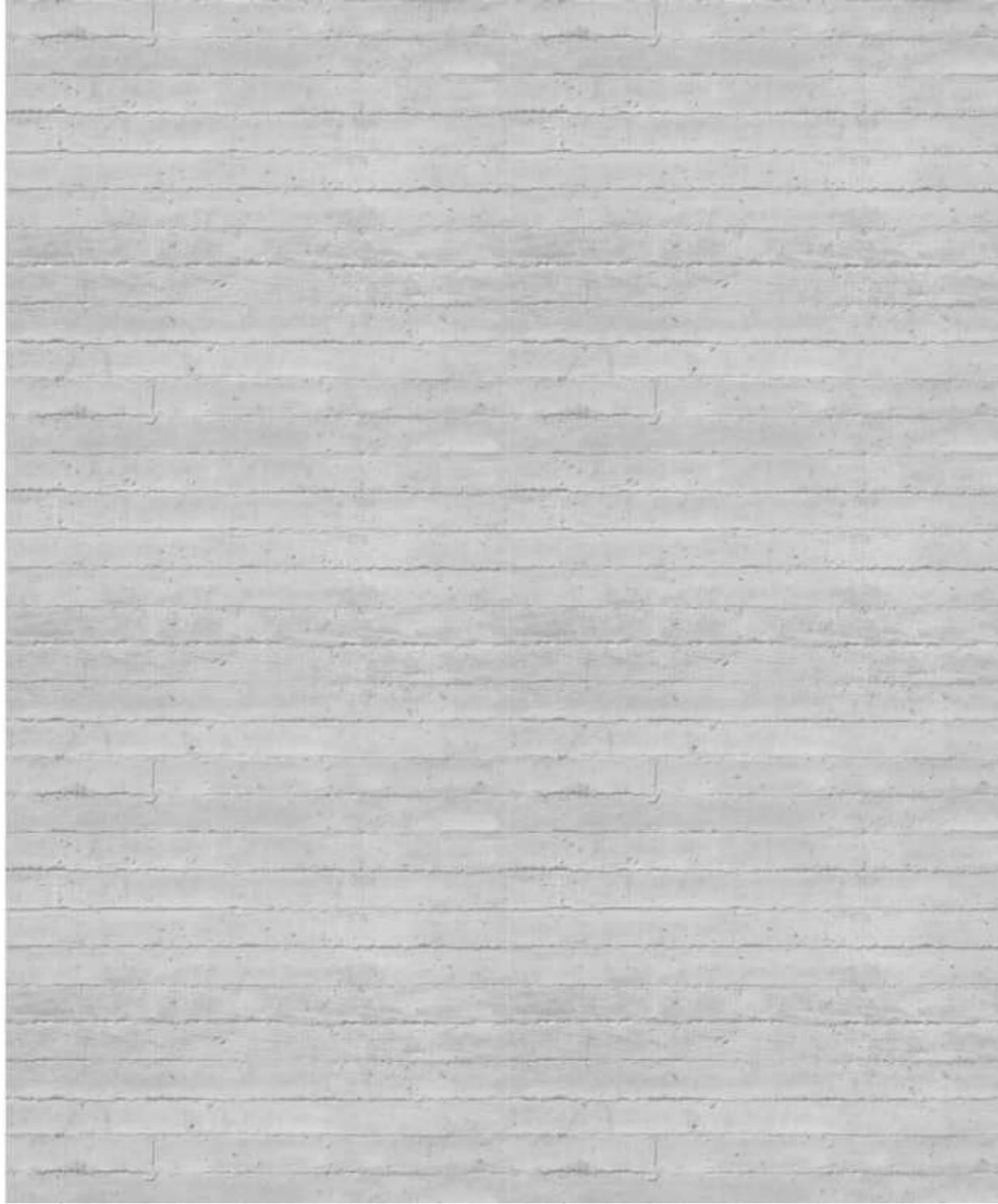


Fig. 50. Esclerometro sobre espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 51. Limpieza de espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 52. Clasificación del hormigón según su valor de rebote. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 53. Gráfico para análisis de resultados de rebotes. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 54. Delimitación de cuadrantes sobre foto. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 55. Cartografía Detección Visual General del espécimen de Hormigón Armado, donde se especifican defectos evidentes en la superficie. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 56. Resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre la muestra. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 57. Tabla de datos obtenidos a través del ensayo de resistividad eléctrica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 58. Clasificación de probabilidad de corrosión. Cely Natali Guerrero Mena (2013). "Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón".

Fig. 59. Leyenda cartografía resistividad eléctrica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 60. Gráfico cartografía resistividad eléctrica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 61. Cartografía detección visual superpuesta a valores de Resistividad Eléctrica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 62. Clasificación del hormigón según su velocidad ultrasónica. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 63. Leyenda cartografía ultrasonidos. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 64. Gráfico cartografía ultrasonidos. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 65. Tabla de datos obtenidos a través del ensayo de ultrasonido. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 66. Cartografía detección visual superpuesta con Velocidades Ultrasónicas. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 67. Tabla de datos obtenidos a través del ensayo de esclerómetro. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

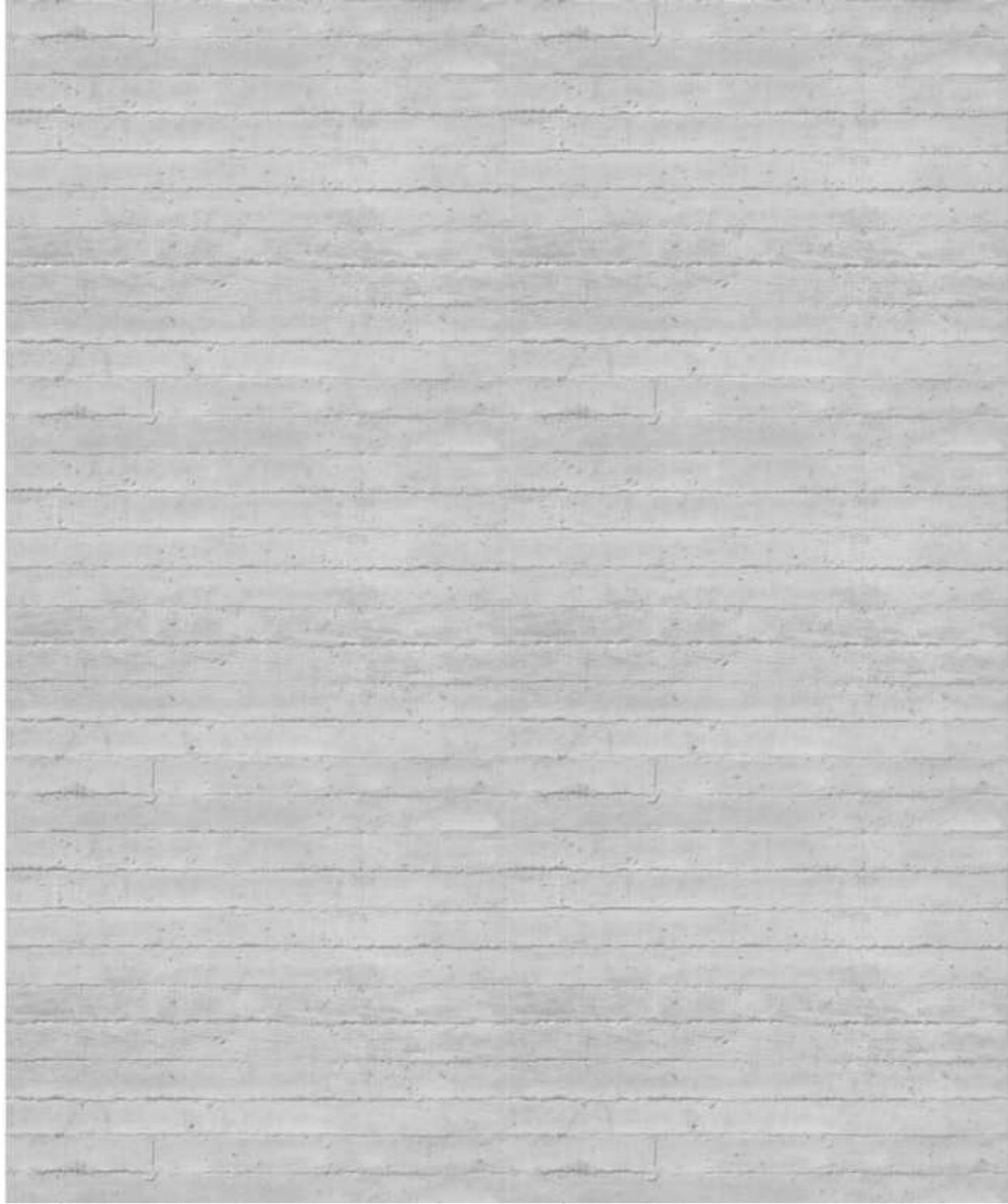


Fig. 68. Clasificación del hormigón según su valor de rebote. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 69. Leyenda cartografía esclerómetro. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 70. Gráfico cartografía esclerómetro. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 71. Cartografía detección visual superpuesta con Valores de Rebote. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 72. Tabla final de resultados de todas las pruebas. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 73. Tabla de número de coincidencias de datos con comparación sobre imagen del espécimen. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 74. Cartografía comparativa final. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 75. Tabla comparación de métodos. Cely Natali Guerrero Mena (2013). “Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón”.

Fig. 76. Fachada del Instituto Salk de Estudios Biológicos (www.plataformaarquitectura.cl).

Fig. 77. Interior de la Catedral de Santa María de Tokio (www.plataformaarquitectura.cl).



Análisis de la durabilidad del
Hormigón Visto. Ejemplos del
Movimiento Moderno