



**PRIMEROS PREFABRICADOS
DE MORTERO Y HORMIGÓN:
EJEMPLOS DE SU
DEGRADACIÓN Y
CONSERVACIÓN**

LEIOA

2021

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

**TESIS DOCTORAL PRESENTADA
POR:**

JUAN BERMEJO SOLER



UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERSITATEA
(UPV/EHU)

FACULTAD DE BELLAS ARTES

Programa de Doctorado en Estrategias Científicas
Interdisciplinarias en Patrimonio y Paisaje

Departamento de Pintura

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

**PRIMEROS PREFABRICADOS DE MORTERO Y
HORMIGÓN: EJEMPLOS DE SU DEGRADACIÓN Y
CONSERVACIÓN**

Memoria para optar al grado de Doctor

Juan Bermejo Soler

Bajo la dirección de las Doctoras

M^aDolores Rodríguez Laso

Nagore Prieto Taboada

Leioa, julio del 2021

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de tesis doctoral ha sido posible gracias a la financiación del convenio “Puesta en Valor de las Galerías Punta Begoña”, en el que colaboran el Ayuntamiento de Getxo con la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

En el aspecto personal quiero destacar el completo apoyo y dedicación de mis directoras Lola Rodríguez Laso y Nagore Prieto Taboada a lo largo de estos años. También quiero agradecer a mis compañeros de doctorado Estibaliz Lama Ochoa y Iñigo González González, que siempre han estado dispuestos a ayudar tanto en el trabajo práctico, como aportado grandes ideas.

Me gustaría hacer mención del personal del ACC Técnicas de escultura, en especial a Amaia Conde Chiralt y a Conchi, por aportar sus conocimientos y experiencia acerca del uso de moldes en el Patrimonio Construido.

También a sido importante el apoyo de Mónica Martín Sisi, del proyecto Homo Faber, por sus grandes conocimientos en técnicas de decoración tradicionales y su total disposición a responder todas mis dudas.

Agradecer al grupo IBeA, permitirme utilizar sus equipos e instalaciones para parte de los ensayos que se han llevado a cabo en esta tesis.

Por último, a toda la gente que, a lo largo de este tiempo, me animado brindándome su ayuda y apoyo, muchas gracias.

Dedicado a Quique y Magdalena

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	21
2. OBJETIVOS	25
3. METODOLOGÍA.....	29
4. APARICIÓN DEL CEMENTO ARTIFICIAL Y SUS PREFABRICADOS 33	
4.1. Materiales y composición	40
4.1.1. Cemento artificial.....	42
4.1.2. Áridos	46
4.1.3. Armadura	48
4.2. Técnica de fabricación	51
5. PARTE EXPERIMENTAL.....	63
5.1. Envejecimiento acelerado.....	63
5.2. Medición de pH y salinidad	64
5.3. Caracterización de morteros a través de la difracción de rayos X (DRX).....	65
5.4. Preparación de probetas.....	66
5.5. Ensayo de sales por capilaridad	68
5.6. Ensayo de penetración de contaminantes	70
5.7. Levantamiento fotogramétrico	72
5.8. Impresión 3D con técnica FDM	75
5.9. Medición de color y brillo	77
6. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA EXPANSIÓN DE LAS ARMADURAS: APROXIMACIÓN A SU CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN.....	81
6.1. Factores de alteración y procesos de deterioro habituales en las armaduras.....	83
6.1.1. Factores intrínsecos	83

6.1.2. Carbonatación	86
6.1.3. Iones despasivantes	87
6.1.4. Procesos de corrosión	87
6.2. Clasificación por niveles de deterioro	88
6.3. Propuesta de intervención	91
6.3.1. Nivel I	91
6.3.2. Nivel II	92
6.3.3. Nivel III	92
6.4. Conclusiones sobre los problemas ocasionados por la expansión de las armaduras.....	93
7. LAS BALAUSTRADAS EN LAS GALERÍAS PUNTA BEGOÑA: METODOLOGÍA PARA LA REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA.....	97
7.1. Las Galerías Punta Begoña: ubicación e historia	98
7.2. Las balaustradas en las Galerías Punta Begoña.....	101
7.3. Estado de conservación de las balaustradas	111
7.4.1. Inventariado y clasificación de los restos	125
7.4.2. Encolado de piezas	126
7.4.3. Reproducción de elementos completos	130
7.4.4. Reintegración volumétrica de elementos incompletos	139
7.4.5. Ensamblaje e instalación	141
7.5. Conclusiones a cerca de la reintegración volumétrica en las Galerías Punta Begoña	145
8. LOS SUELOS DEL EDIFICIO “EL CARMEN”: METODOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DE MOSAICO HIDRÁULICO.	149
8.1. Origen y evolución del mosaico hidráulico	150
8.2. Sistema de fabricación	151
8.2.1. Materiales	151

8.2.2. Métodos de producción	156
8.2.3. Instalación	158
8.3. Chalé El Carmen: Ubicación e historia.....	160
8.4. Estado de conservación de los suelos	167
8.5. Propuesta de intervención.....	170
8.5.1. Extracción de las piezas y eliminación de morteros ...	170
8.5.2. Encolado de piezas originales.....	175
8.5.3. Reproducción de elementos completos	176
8.5.4. Reintegración volumétrica de partes faltantes	177
8.5.4.1. Reintegración con técnicas manuales.....	179
8.5.4.2. Reintegración con fragmentos nuevos	182
8.6. Conclusiones	182
9. CONCLUSIONES INTEGRADAS.....	185
10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	191
11. BIBLIOGRAFÍA	195

1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

Los prefabricados de mortero y hormigón, con carácter decorativo, asociados a la arquitectura, tuvieron un importante auge a finales del s. XIX y principios del s. XX.

Tras cien años de exposición a todo tipo de agentes de deterioro, muchos de estos materiales, requieren de una intervención urgente. Esta situación ha dado lugar a rehabilitaciones realizadas por personal sin formación de Conservación y Restauración, a veces, con criterios inadecuados.

Lo expuesto aconseja la necesidad de crear metodologías específicas, desarrolladas desde el campo de la Conservación y Restauración, para la recuperación de estos elementos patrimoniales.

Desde que recuerdo, siempre he tenido interés por los grandes conjuntos arquitectónicos, mansiones, palacetes, castillos, etc. Dentro del grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales tuve la suerte de poder realizar prácticas voluntarias en las Galerías Punta Begoña. Gracias a este proyecto tomé contacto con la arquitectura de principios del siglo XX, así como con su material estrella, el hormigón armado. Poco a poco, mi interés fue creciendo, por lo que realicé el Trabajo de Fin de Grado (TFG) sobre las obras escultóricas elaboradas en este material.

En el Trabajo de Fin de Máster (TFM), tuve la posibilidad de estudiar y caracterizar los distintos tipos de balaustradas en las Galerías Punta Begoña.

La colaboración con el grupo GREDA (Grupo de Restauración de Elementos Decorativos en Arquitectura) de la UPV/EHU me permitió intervenir en elementos decorativos de otros tipos, como es el caso de los papeles pintados en el Palacio Ganuza (Eskoriatza, Gipuzkoa), el edificio Arizmendienea (Oiartzun, Gipuzkoa) y la Torre de los Varona (Villanañe, Álava).

Todo ello me llevó a adquirir nuevos conocimientos en el campo de las técnicas de moldeo y los métodos tradicionales de imitación de piedra en el taller de Amaia Conde Chiralt (ACC Escultura), así como el aprendizaje en la decoración del estuco mármol y el esgrafiado en la academia Homo Faber.

La profundización en métodos de recuperación de obra en soportes pétreos, tanto naturales como artificiales, a través de sendos cursos:

“Limpieza de materiales pétreos” (Escuela de patrimonio de Nájera) y “Pulido y apomazado de piedra natural” (Euroinova). También, la suma de nuevos conocimientos en congresos específicos en el campo de la Conservación y Restauración: III Congreso Iberoamericano Investigaciones en Conservación de Patrimonio; I Jornada de Patrimonio Industrial de Cantabria, y XIII Jornadas de Conservación y Restauración – Materiales y técnicas innovadoras para la conservación y restauración del hormigón: Innova Concrete; así como Metal-España 2021.

Los distintos trabajos realizados durante el periodo de formación predoctoral se recogen en diversas publicaciones.

Actualmente, junto a diversos departamentos de la UPV/EHU y en colaboración de otras entidades, participo en el equipo de trabajo del proyecto multidisciplinar de ámbito nacional DEMORA (Desarrollo de morteros resistentes a contaminación ambiental y biodeterioro, y de sistemas innovadores sostenibles para la limpieza y restauración del patrimonio construido).

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Los elementos decorativos de mortero y hormigón, en muchos casos, presentan un importante peso estético dentro de los conjuntos arquitectónicos a los que pertenecen, siendo importante su conservación y restauración, para la correcta lectura de los lugares en los que se encuentran. Por ello, para esta Tesis Doctoral se estableció el siguiente objetivo principal:

“Desarrollar metodologías para la Conservación y Restauración de materiales prefabricados, en mortero y hormigón, de principios del siglo XX”

Para alcanzar este objetivo, en primer lugar, fue necesario el establecimiento de una serie de objetivos secundarios:

-Conocer los materiales y métodos utilizados para su creación, de cara a comprender sus alteraciones y procesos de envejecimiento.

-Analizar las degradaciones más características de estos materiales y su relación con los agentes de deterioro tanto internos como externos.

-Generar metodologías específicas para el tratamiento de estos materiales según distintas casuísticas:

- Roturas y pérdidas debidas a la expansión de las armaduras.
- Reconstrucción y reposición de elementos faltantes, en motivos seriados.
- Conservación y Restauración de mosaicos hidráulicos.



3. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

A través de este trabajo se pretenden obtener metodologías innovadoras para abordar las intervenciones en Patrimonio Cultural sobre hormigón, en lo concerniente al apartado de los elementos decorativos seriados.

En la primera parte de esta investigación “Aparición de cemento artificial y sus prefabricados” se ha descrito el recorrido histórico de los prefabricados de cemento modernos, desde su aparición hasta la primera mitad del s. XX. Para ello, no solo se ha estudiado su evolución histórica, sino también los materiales y técnicas con los que se ejecutaban.

En la presente tesis se han utilizado tanto fuentes contemporáneas a las obras, como puede ser Vicat (1818) o Lefol (1922), como actuales, a la hora de afrontar la intervención, sirva de ejemplo Odgers (2018) o Burgos (2009).

Para la documentación histórica también se han consultado diferentes archivos como son el Archivo de la Diputación Foral de Bizkaia, el Archivo Histórico Provincial de Cantabria, la Hemeroteca Nacional y el Servicio de Prensa Histórica del Ministerio de Cultura.

Para la documentación gráfica, aparte de la generada expresamente para esta investigación, se ha contado con los fondos del grupo de Bellas Artes, el Centro de la Imagen de Santander (CDIS), además algunos fondos de coleccionistas privados.

La parte experimental la hemos centrado en el estudio de tres casos concretos: en primer lugar, se han abordado los problemas causados por el deterioro de la armadura metálica la cual, normalmente, produce un gran número de fisuras y pérdidas. Por otro lado, se ha profundizado en interpretar el comportamiento de las balaustradas del conjunto arquitectónico Punta Begoña, dando especial importancia a los problemas causados por la pérdida de elementos. Por último, se ha profundizado en el comportamiento y metodología para la conservación de los mosaicos hidráulicos presentes en el Chalé “El Carmen” (Santander).



***4. APARICIÓN DEL
CEMENTO ARTIFICIAL Y SUS
PREFABRICADOS***

4. APARICIÓN DEL CEMENTO ARTIFICIAL Y SUS PREFABRICADOS

Esta investigación se centra en el cemento artificial y sus productos derivados, no obstante, para exponer el origen del hormigón moderno es inevitable mencionar el hormigón romano y el tapial.

En el s. II a.C. los romanos ya preparaban mortero y hormigón con lo que ellos denominaban 'Opus Caementicium', que consistía en un conglomerante hidráulico obtenido mediante la combinación de cal aérea y elementos puzolánicos, tanto naturales (materiales volcánicos) como artificiales (elementos cerámicos triturados) (Alejandre, 2002). Esto permitió el desarrollo de los muros de tres hojas, compuestos por una parte interna de hormigón y dos capas externas de piedra o ladrillo, que hacían las veces de encofrado perdido (Alegre et Al, 2011).

El tapial es una técnica tradicional de construcción en tierra, en la cual se generaba un encofrado, sobre el que se vertían y apisonaban sucesivas hileras de arcilla mezclada con fibras, tanto vegetales como animales. Aunque su comportamiento químico es completamente distinto al del hormigón, el sistema moderno de encofrados es heredero de esta técnica. (Simonnet, 2009).

No obstante, el objeto de estudio de esta tesis se centra en el hormigón moderno, obtenido a partir de cemento artificial. El desarrollo de dicho material se produjo en el contexto de la revolución industrial, como producto ideal para las nuevas necesidades constructivas y con una gran resistencia a los incendios, problema muy habitual en las primeras industrias compuestas de estructuras de hierro o madera, en fachadas portantes de ladrillo o mampuesto. (Valenzuela, 2015).

El desarrollo del hormigón moderno se puede dividir en tres fases: la primera, la fase **experimental**, desde mediados de siglo XVIII hasta los trabajos de Vicat en 1818, en la que se realizaron ensayos a partir de cales hidráulicas; una segunda, de 1818 a 1903, donde aparece el cemento artificial y el hormigón armado, época en la que se produce un gran **desarrollo** dando lugar a la denominada guerra de patentes; y, por último, la tercera fase, que comienza en 1903 con de **regularización** y normalización de las técnicas constructivas. Estas fases no son estancas, pero nos permiten comprender mejor el rápido desarrollo de esta técnica en poco menos de 150 años (figura 1).

EXPERIMENTAL

3º FARO DE EDDYSTONE 1756.

1750

1796. PATENTE CEMENTO
"ROMANO"

1800

TRABAJOS DE LOUIS VICAT 1818.

1824. J.ASPIDIN
CEMENTO PORTLAND

BARCA DE JOSEPH LAMBOT 1849.

1850

1854. PATENTE WILKINSON

DESARROLLO

1867. 1º PATENTE
JOSEPH MONIER

1º PATENTE CONTTACIN 1889.

1887. WAYSS Y KOEN

1º TRABAJO DE CALCULO 1894.
COIGNET Y TEDESCO

1892. 1º PATENTE
HENEBRIQUE

NORMA SUIZA 1903.

1900 EX. UNIVERSAL DE PARÍS

NORMA FRANCESA 1906.

1904. NORMA ALEMANA

NORMA ESTADUNIDENSE 1917.

1915. NORMA BRITANICA

NORMA DIN 1045 1932.

1929. PATENTE PRETENSADO
FREYSINET

CONSOLIDACIÓN DEL 1947.
REGLAMENTO ESTADUNIDENSE

1939. NORMA ESPAÑOLA

1950

REGULARIZACIÓN

Figura 1. línea del tiempo en la que se representan los principales hitos en el desarrollo del hormigón moderno

La primera fase conduciría a un nuevo conglomerante hidráulico. Comenzó con el trabajo realizado en 1756, por el ingeniero inglés John Smeaton, para la edificación del tercer faro de Eddystone. En este proyecto Smeaton comparó calces procedentes de distintos lugares que le llevaron a la conclusión de que las menos puras, es decir las que contenían más arcilla, presentaban mayores propiedades hidráulicas (Alejandre, 2002; Burgos, 2009). El también británico James Parker obtuvo una cal hidráulica natural seleccionando, como materia prima, rocas ricas en un mineral llamado septaria, que está compuesto por calcita y arcilla principalmente. Fue patentando en 1796 bajo el nombre de "Cemento Parker" o "Cemento Romano" (Alejandre, 2002).

Dos décadas más tarde, el ingeniero francés Louis Vicat, confirmó las observaciones de Smeaton y publicó, en 1818, un método que permitía la producción de cal hidráulica artificial, con una mezcla de piedra caliza con la cantidad óptima de arcilla, antes del triturado y la cocción. Este estudio dio paso a un siglo de gran **desarrollo** de la técnica respecto al cemento y el hormigón (Vicat, 1818).

La familia Aspidin, primero Joseph Aspidin y después su hijo, patentaron el Cemento Portland, que sería el primer cemento moderno. La diferencia con la cal hidráulica artificial residía en una cocción a más temperatura, lo que producía una mayor cantidad de elementos sinterizados, siendo un conglomerante con mejores propiedades hidráulicas. Esto permitía crear un hormigón de gran resistencia (Alejandre, 2002). A partir de esta fecha se usaría el término Portland para denominar a todos los cementos hidráulicos artificiales (Rosell y Cárcamo, 1994).

En 1849 Joseph Lambot muestra, en la exposición Industrial de París, una barca compuesta de una red metálica sumergida en cemento, que conseguiría patentar seis años más tarde, siendo esta la primera experiencia en hormigón armado (Simonnet, 2009; Burgos, 2009).

Joseph Monier, jardinero francés, creó un sistema de construcción en el que combinaba mallas de alambre con morteros y hormigones, que daban muy buen resultado para la construcción de pequeños depósitos, estanques, macetas y otros elementos de horticultura. Poco tiempo después, comenzó a utilizar este sistema en elementos de mayor tamaño, incluso para la construcción de edificios. Registró su primera patente en 1867 (Simonnet, 2009).

Los trabajos de Monier tenían una gran potencia expresiva, pero eran realizados de manera exclusivamente empírica, lo que restaba eficacia a las armaduras, ya que no siempre estaban en consonancia con los esfuerzos que la estructura iba a soportar (Valenzuela, 2015).

El también francés, François Hennebique, supo ver el potencial económico de este nuevo material. En 1892 registró la primera, de muchas patentes, del sistema Hennebique (Simonnet, 2009). Su empresa mantuvo los diseños tradicionales de construcción, pero sustituyó los elementos lineales de madera o hierro por elementos de hormigón armado. Todo ello dio lugar a la creación de estructuras basadas en pilares, vigas y losas de hormigón, completamente autoportantes. Quizás, su mayor aporte a la técnica fue la dosificación utilizada por su sistema, muy similar a la usada actualmente en muchas construcciones (Valenzuela, 2015).

Los trabajos de Monier y de Henebrique constituyen las dos corrientes más representativas en esta época, pero existieron variados sistemas como los de: Wilkinson, Conttacin, Blanc, Métal Déployé, etc. Las principales diferencias se encuentran en la manera de colocar la armadura interior, que se aborda en más detalle en el apartado 4.1.3 correspondiente a las armaduras.

El rápido y gran desarrollo de este nuevo material produjo la denominada guerra de patentes entre las últimas décadas del s. XIX y la primera del s. XX. Todos los industriales de la época buscaban registrar el uso del citado material bajo una o varias patentes, permitiéndoles así acaparar el nuevo mercado que acababa de nacer (Valenzuela, 2015). Son un ejemplo en España, entre 1884 y 1906, se registraron 1782 patentes referidas al uso constructivo del hormigón armado (Domouso, 2015).

El descontrol surgido del gran número de patentes y métodos de aplicación, así como los accidentes ocurridos en la primera década del s. XX, hicieron que aflorara la necesidad de regular el uso de este nuevo material.

A finales del s. XIX aparecieron los primeros trabajos teóricos sobre el cálculo de estructuras en hormigón, independientes de las patentes. Los más importantes serían los de Wayss y Koen de 1887 (partiendo del sistema Monier) y el de Paul Cristophe de 1899 (Rosell y Cárcamo, 1994; Valenzuela, 2015).

A partir de estos cálculos aparecería, en Suiza, la primera legislación a nivel nacional, sobre el uso del hormigón en 1903. Se inicia así la época de **reglamentación**. Poco a poco, se fueron uniendo las normativas de otros países: Prusia en 1904, Francia 1906, Gran Bretaña en 1915, y Estados Unidos en 1917. La normativa francesa de 1906 fue aplicada por la mayor parte de países europeos, hasta la redacción de las suyas propias (Valenzuela, 2015). En España, la normativa gala, se utilizó hasta la redacción de una normativa propia en 1939, de manera provisional, la cual se ratificó sin demasiadas modificaciones en 1944 (Valenzuela, 2015).

Pese al continuo avance de las normativas de cada país, en lo que se refiere al campo de la Conservación y Restauración, no se da especial importancia a los aspectos de durabilidad del material, hasta la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE) en 1998 (Cobo, 2001).

Aunque existe algún caso anterior, los elementos prefabricados de mortero y hormigón se desarrollaron, de manera paralela, a la aparición de estos nuevos materiales. En el siglo XVIII un obrero francés llamado Antoine Joseph Lorient, se dedicó a diseñar métodos para la imitación de elementos ornamentales en piedra natural con morteros mixtos de cal aérea y cal viva (Simonnet, 2009).

Aunque se sabe que los morteros y hormigones de cemento artificial rápidamente se utilizaron para crear sillares artificiales, tanto en talleres como in situ, el primer ejemplo importante del uso, a nivel industrial, de los prefabricados de cemento fueron los bloques creados para el espigón del puerto de Argel por L. Poirel en 1833 (Rosell y Cárcamo, 1994).

En 1835 se levantó la casa de John White en Swanscombe, la cual no solo estaba construida a partir de bloques de hormigón, sino que se moldearon en este material las tejas, los marcos de las puertas y todos los elementos decorativos (Strike, J. 2004).

La búsqueda de la innovación produjo la utilización del citado material para la creación de un gran número de elementos: piedra artificial, mármoles artificiales, pavimentos hidráulicos y objetos ornamentales (figura 2 y 3), extendiéndose su uso a finales del s. XIX (Burgos, 2009).

En España esta técnica fue ampliamente desarrollada por el fabricante Jaime Comermá y, en especial, por la casa Butsems y Cía. Ambas empresas comenzaron con la producción de mosaico hidráulico, pero terminaron

especializándose en la realización de prefabricados de piedra artificial. Muchas de las fachadas de Madrid y Barcelona, creadas en la segunda mitad del s XIX, fueron efectuadas con productos de la casa Bustems y Cía (Pitarch y Dalmases, 1982).



Figura 2. Elementos prefabricados decorativos. Extraído del catálogo de “La ideal – Jose Gomez”. 1929

Colección Particular

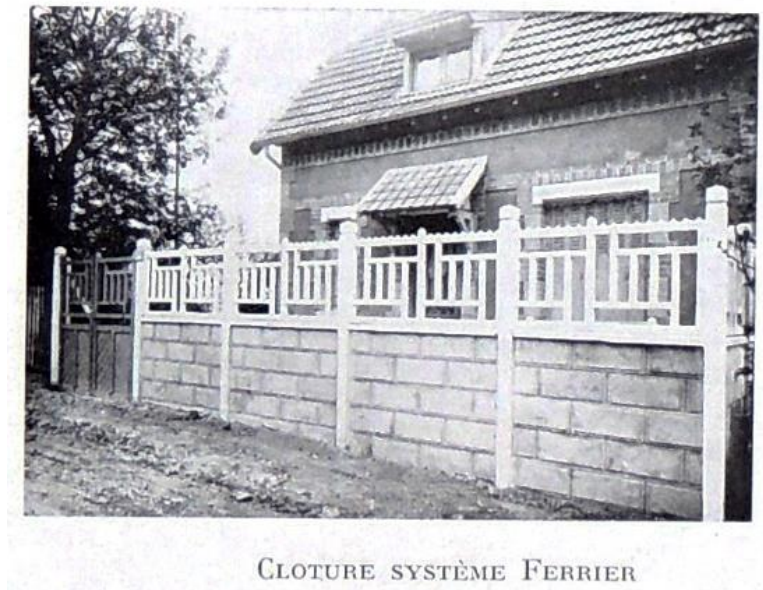
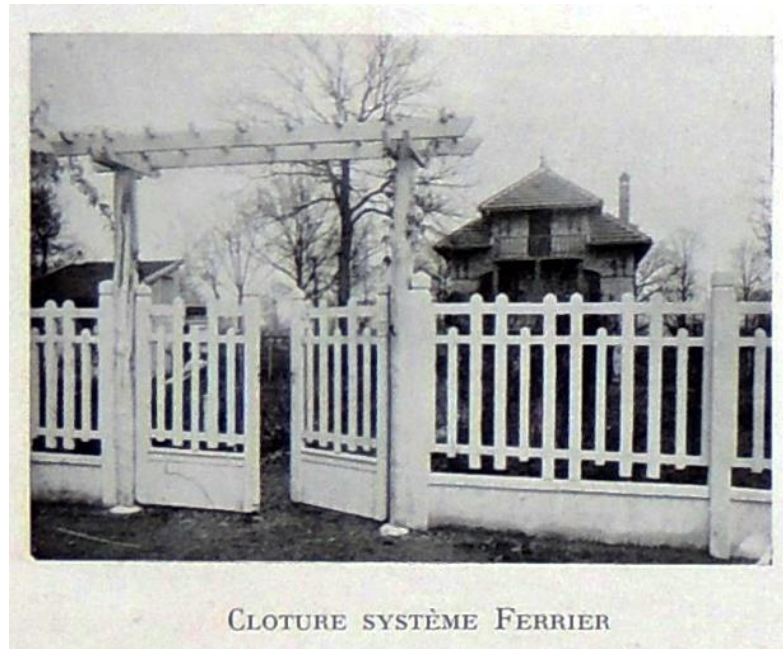


Figura 3. Ejemplos de elementos decorativos prefabricados. Extraídos de Lefol (1906)

Colección Particular

4.1. Materiales y composición

La Fundación Laboral de la Construcción (2009) define piedras artificiales como “piedras obtenidas en frío, mediante la hidratación de productos triturados que, al incorporarles agua, adquieren cohesión” (p.12).

Según sus componentes se suele hablar de pastas, morteros u hormigones. Las pastas se obtienen de mezclar un conglomerante con agua sin ningún tipo de árido. Cuando al agua y al conglomerante se le suma arena se denomina mortero; cuando al agua, al conglomerante y a la arena se le añade grava nos encontraríamos con un hormigón (figura 4) (Herreruela, 2014).

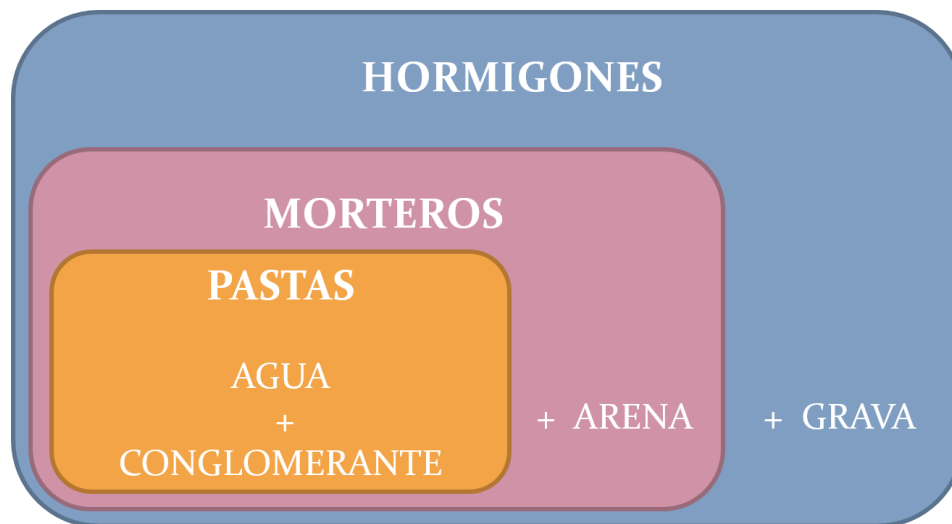


Figura 4. Diferencia entre pastas, morteros y hormigones.

En primer lugar, muchas veces no reflejado en la bibliografía, el **agua** tiene una gran importancia en la fabricación de piedra artificial, ya que no solo es necesaria para su creación, sino que la calidad y cantidad de esta, va a influir en el resultado final.

Durante el proceso de amasado, el agua tiene dos funciones: por un lado, permite las reacciones de hidratación del conglomerante y, por otro, le da a la mezcla la trabajabilidad conveniente para su aplicación.

Dependiendo del objetivo y los materiales utilizados, será necesaria una mayor o menor cantidad de agua. Su correcta dosificación es vital dado que

el exceso de esta produce una mayor contracción y más riesgo de fisura, pero su falta, da lugar a un fraguado incompleto del conglomerante.

Para realizar las pastas, morteros y hormigones se puede usar simple agua potable. Pero, no es recomendable utilizar agua destilada y, bajo ningún concepto, se deben utilizar aguas que contengan: sulfatos, sal marina, materiales orgánicos, elementos en suspensión como limos o arcillas, etc. Además, para el funcionamiento correcto de la mayoría de conglomerantes el pH del agua no debería ser inferior a 5 (Herreruela, 2014).

Se denomina **conglomerante** a aquella sustancia capaz de unir fragmentos o partículas de otras sustancias y darles cohesión, a través de procesos químicos (FLC, 2009). Para la realización de elementos prefabricados se puede usar cualquier conglomerante con propiedades hidráulicas como: el yeso, la cal hidráulica y el cemento. Se denomina conglomerante hidráulico a todo aquel capaz de fraguar, en ambientes saturados de agua o pobres en CO₂ (FLC, 2009). En esta tesis doctoral nos vamos a centrar, exclusivamente, en el cemento ya que es el más habitual entre los materiales que nos ocupan.

El **árido** es el material granulado añadido a los morteros y hormigones con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica y disminuir la retracción.

Los **aditivos** son productos que se añaden a las pastas, morteros y hormigones en pequeñas cantidades (<5%) con el objetivo de modificar alguna de sus características o propiedades. Pueden incorporarse antes del amasado, durante, o en un amasado posterior (Herreruela, 2014). Algunos ejemplos de aditivos serían los pigmentos, plastificantes, retardantes de fraguado, etc.

En ocasiones, además se suman **fibras** cortas, discretas y distribuidas aleatoriamente en su masa. Las fibras tienen la función de refuerzo, aumento de la resistencia mecánica y a los impactos, así como disminución de las fisuras producidas por la retracción, entre otros (ACHE, 2010). En los primeros prefabricados la inclusión de fibras cortas no era demasiado habitual, pero si se pueden encontrar fibras largas actuando de refuerzo interno, a veces acompañando a la armadura.

En muchos casos, en su aplicación arquitectónica, los morteros y hormigones suelen ir dotados de **armaduras**, elementos metálicos interiores que mejoran su resistencia mecánica.

4.1.1. Cemento artificial

Se denomina cemento artificial a los conglomerantes obtenidos a partir de la cocción de arcilla y piedra caliza, en distintas dosificaciones, finamente molidas (FLC, 2009).

El proceso de producción, en origen, era similar al cocido de la cal pero, con la aparición del horno refractario de Charles Johnson en 1845 y el horno giratorio de Ransome, en 1880, se creó un método productivo que no ha sufrido grandes cambios a lo largo del s. XX (Rosell y Cárcamo, 1994; Burgos 2009).

Este proceso (figura 4) comienza con la extracción de la caliza y la arcilla en sus respectivas canteras y su posterior traslado a la fábrica donde se realiza el triturado de ambos materiales por separado. Seguidamente, dichos productos se mezclan en una proporción en torno al 92% de caliza y el 8% de arcilla. Según las necesidades, en este punto, se suelen añadir óxidos de hierro como limonita u otros materiales para modificar las características finales del producto (Herreruela, 2014). Esta mezcla se vuelve a triturar, obteniendo un polvo fino denominado crudo, el cual se hornea a altas temperaturas, entre 1350°-1450° C (figura 5), produciéndose una serie de reacciones químicas de clinkerización (Rosell y Cárcamo, 1994).

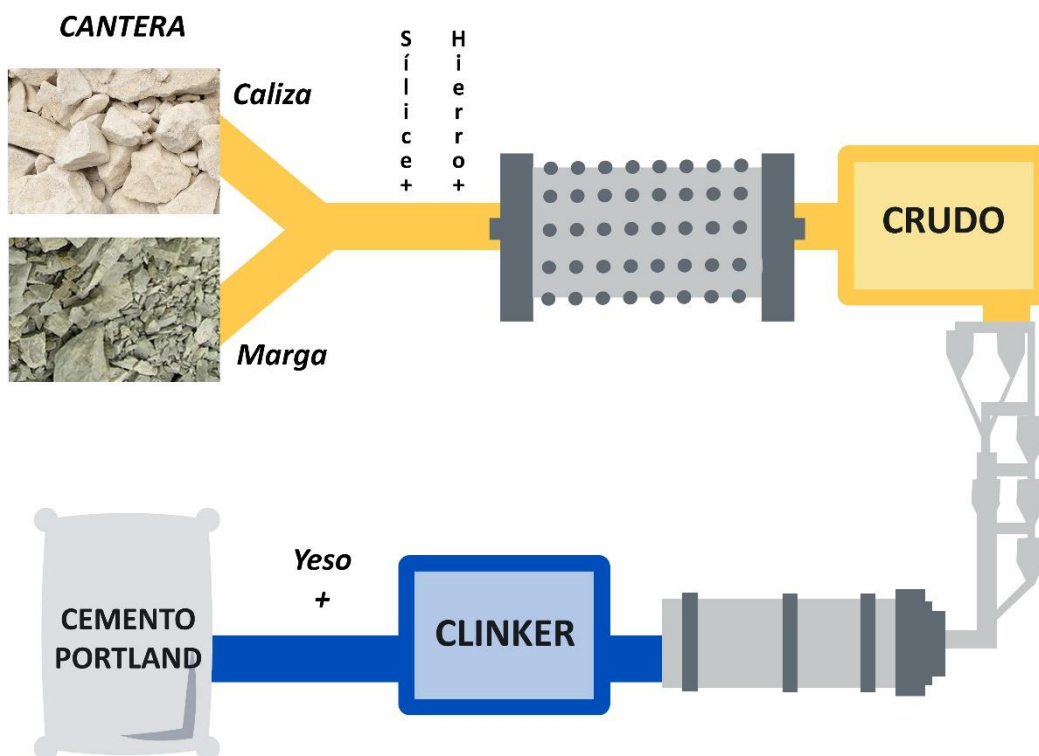


Figura 4. Esquema del proceso de fabricación.

El horneado se efectúa en un horno rotatorio, que consiste en un gran tubo de entre 60-90 m de longitud y 3-6 m de diámetro, cuyo interior se encuentra recubierto por dos capas de ladrillo refractario. Esta estructura suele contar con una inclinación de 2% a 5% de desnivel para que el material introducido por un lado valla recorriendo toda la longitud del horno hasta salir por el otro extremo (Gomá, 1979).



Figura 5. Horno rotatorio (izquierda) y molino de bolas (derecha) en la fábrica de Cementos Rezola. Donostia. 2019.

Del horno se extraen unos nódulos de color oscuro, denominados clínker. Este producto, por su composición, necesita mezclarse con cierta cantidad de algún sulfato, normalmente un 5% de yeso, para controlar la velocidad de fraguado. Sin este, el material fraguaría casi de manera instantánea (Odgers, 2018). Estos nódulos se mezclan con el yeso y se trituran todos juntos, por última vez, en un molino de bolas.

Dicho molino, está formado por un cilindro con un tercio de su interior relleno de bolas de acero de diferentes tamaños que, al moverse, rompen los nódulos de clínker y los trozos de yeso (Gomá, 1979). De esta máquina se extrae el cemento en polvo, ya listo para ser utilizado.

El funcionamiento del cemento se ha desarrollado, de manera experimental, mucho antes de conocer los procesos químicos que forman parte de su producción y posterior utilización. En la actualidad, se han realizado grandes esfuerzos por comprender las reacciones involucradas, sin embargo, es un estudio difícil debido a su complejidad.

De manera general, a nivel químico, la fabricación del cemento comienza con la piedra caliza, formada por más de un 85% de calcita (CaCO_3), arcillas y margas que aportan sílice (SiO_2), alumina (Al_2O_3) y hierro.

Tras el proceso de triturado y mezcla se obtiene un crudo con una composición homogénea. Al introducirlo en el horno, con el aumento de temperatura, se van sucediendo distintos procesos (figura 6). En primer lugar, al alcanzar los 100°C , se produce la evaporación del agua presente en el material. A partir de los 400°C , desaparece el agua de cristalización y la arcilla, se descompone en metacaolín ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) (Restrepo et Al, 2006). A partir de los 600°C comienza la formación de los óxidos clave para la producción de cemento. La caliza se descarbonata formando óxido de calcio a 800°C ; los aluminatos ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$) y ferroaluminatos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$) a 900°C ; los silicatos a los 1200°C ; y finalmente, al alcanzar los 1280°C , algunos de los elementos en el interior del horno, comienzan a fundirse, permitiendo nuevas reacciones químicas (Gomá, 1979). Seguidamente, la temperatura continúa aumentando hasta unos 1500°C , a partir de cuya etapa se deja enfriar el clínker.

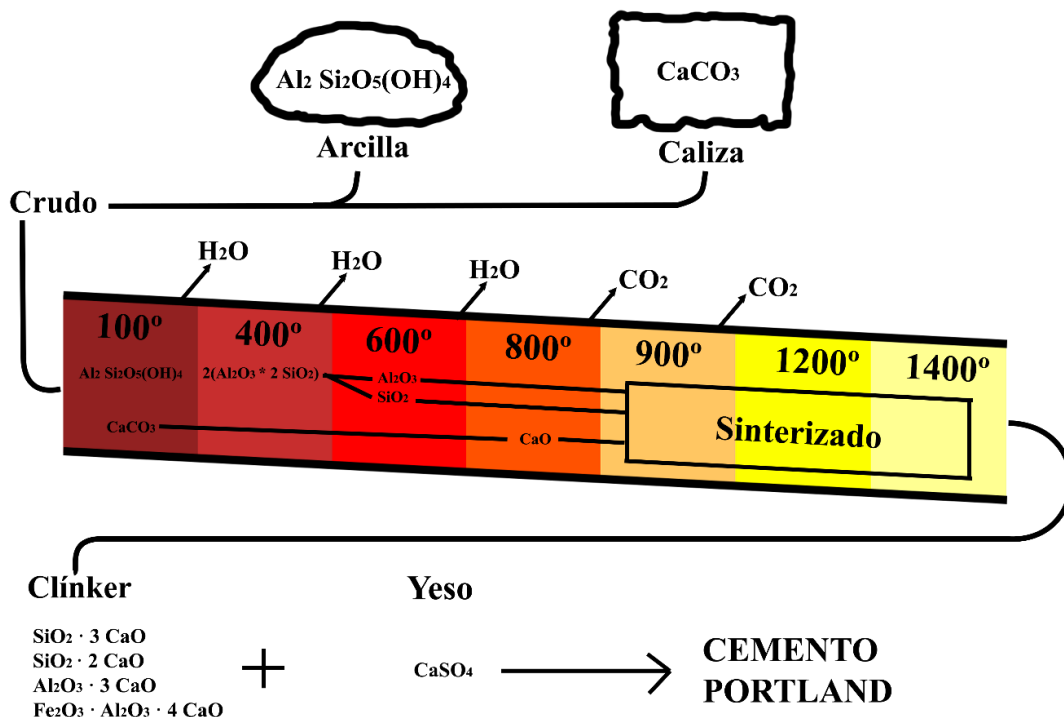


Figura 6. Esquema simplificado de los procesos químicos implicados en la fabricación de cemento. 2020.

Los óxidos formados por las reacciones con arcilla y cal, según el proceso descrito previamente, constituyen los componentes principales del clinker (tabla 1).

Nombre		Formula	Cantidad
Alita	Silicato tricálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	40-60%
Belita	Silicato bicálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 2 \text{CaO}$	20-30%
Aluminato	Aluminato tricálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	7-14%
Ferrita	Ferro-aluminato tetracálcico	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{CaO}$	5-12%

El silicato bicálcico ($\text{SiO}_2 \cdot 2 \text{CaO}$) y el tricálcico ($\text{SiO}_2 \cdot 3 \text{CaO}$) son los compuestos que aportan la mayor parte de su dureza al cemento Portland en su aplicación, aunque su velocidad de funcionamiento es muy distinta (figura 7). El silicato tricálcico obtiene su resistencia mucho más rápidamente realizando, la mayor parte de la fuerza, durante los primeros meses tras la aplicación. Casi igualada por el silicato tricálcico al alcanzar el año (Gomá, 1979). El distinto funcionamiento de estos componentes marcaría la diferencia entre la pérdida de plasticidad que permite el desmoldeo, denominada fraguado y, el proceso mediante el que el mortero u hormigón obtienen toda su capacidad de resistencia llamado endurecimiento.

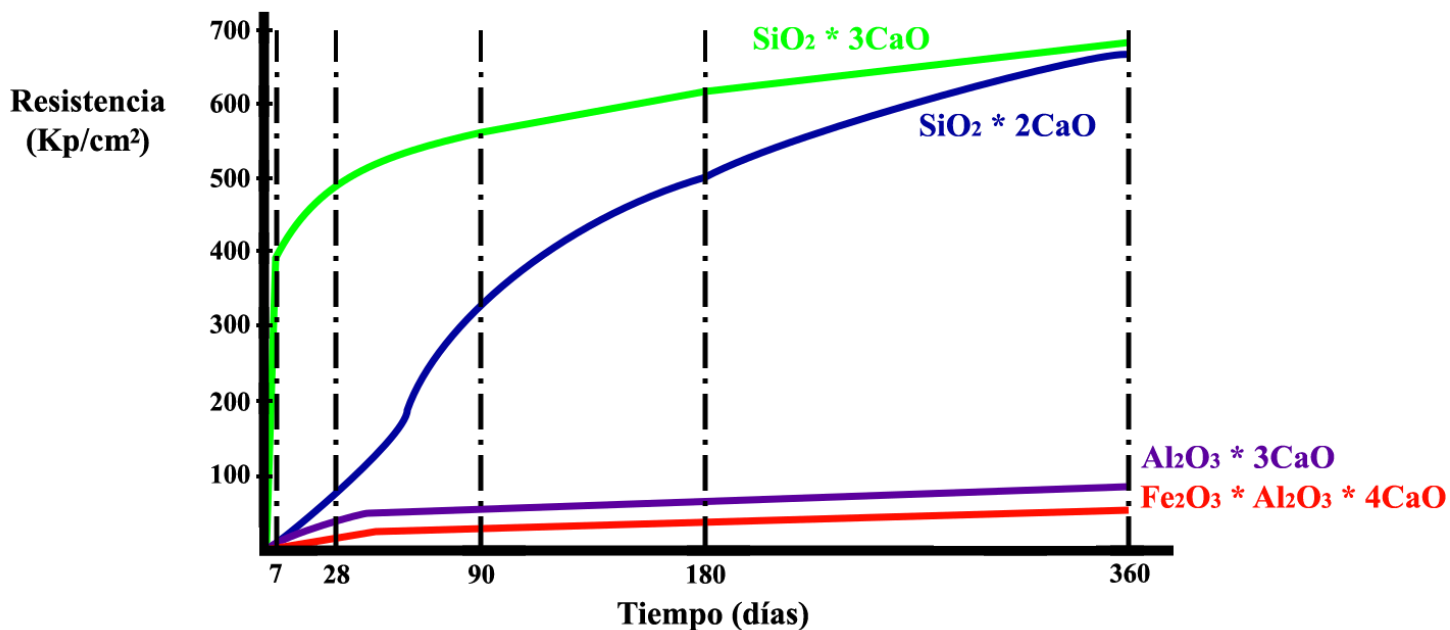


Figura 7. Comparativa de la resistencia de cada componente respecto al tiempo. Gráfico elaborado a partir de los datos de Gomá (1979). 2020.

Para obtener un clínker químicamente puro (únicamente formado por los cuatro óxidos de la tabla 1) sería necesaria una temperatura mucho mayor, pero, en la producción industrial no se busca la reacción total sino, una reacción de la mayor parte de la masa. Esto permite la obtención de clínker con un gasto energético mucho menor. Este hecho tiene como contrapartida que en el producto final encontramos CaO libre, que puede actuar como agente de deterioro del mortero u hormigón resultante, ya que, la CaO se hidrata generando un importante aumento de volumen, lo que puede dar lugar a grietas por expansión (Gomá,1979).

4.1.2. Áridos

Otro de los elementos básicos de cualquier mortero son los áridos. Se denomina árido o agregado al material granulado, de naturaleza inorgánica, siempre que este sea estable químicamente y cumpla las funciones de aumentar la resistencia mecánica, así como el disminuir la retracción.

A la hora de describir un árido, habitualmente, se mencionan las siguientes características: forma, pureza, humedad y granulometría.

La forma del grano puede ser redondeada y lisa, en los áridos rodados; o irregular y angulosa, que se crea con el machaqueo de diferentes rocas.

La pureza se refiere a que el árido no ha de contener ningún otro tipo de sustancia añadida como tierra o restos orgánicos.

La humedad es la cantidad de agua que contiene el árido y que puede alterar la dosificación final en el momento de fabricación del mortero u hormigón.

La granulometría describe el tamaño aproximado de las partículas de un árido, según la cual los áridos reciben distintas denominaciones. La norma UNE-EN 933-2 utiliza el término arena para los áridos con una granulometría entre 62.5 μm y 2 mm y, se denomina grava, cuando se encuentra entre 2 mm y 6.4 cm. La presencia de áridos con una granulometría superior a 2 mm es lo que distingue un hormigón de un mortero.

Los áridos pueden ser clasificados según su origen o composición. Atendiendo a su origen, se pueden clasificar en: naturales, ligeros, pesados, artificiales y reciclados (ACHE, 2010). En lo referido a su composición se distinguen dos grandes grupos: áridos silíceos, provenientes de la descomposición del cuarzo, más duraderos y estables químicamente; y los calizos, más blandos y menos duraderos (FLC, 2009). En ocasiones, a los elementos prefabricados, se les añaden áridos con fines decorativos, los cuales, en el posterior tratamiento de la pieza, quedan visibles (figura 8) (Odgers, 2018).



Figuras 8. Escaleras de Punta Begoña (Getxo, 1918) (izq.) y balaustradas del Puente de M^a Cristina (Donosti,1905) (dcha.). 2019.

Los áridos suponen el 70-80% del volumen de los morteros y hormigones, por lo que la sensibilidad de estos, respecto a los agentes de deterioro, influirá significativamente en el envejecimiento de la pieza. Las características de los áridos condicionan especialmente la resistencia al hielo, a la abrasión y la sensibilidad respecto a ataques químicos (ACHE, 2010).

Tanto para prefabricados como para proyectos de restauración, cuando se quiere obtener el acabado de una piedra natural se puede usar como áridos fragmentos de la citada piedra (Mas, 2006).

4.1.3. Armadura

Se denomina armadura a la estructura metálica que se encuentra en el interior del hormigón armado, lo que hace que mejoren sus capacidades mecánicas, especialmente ante esfuerzos de flexión.

Durante el desarrollo técnico del hormigón armado, en la segunda mitad del s. XIX, se propusieron gran cantidad de diseños para la armadura interior. En el campo de la Conservación y Restauración esta armadura nos puede aportar mucha información, dado que nos ayudará a datar la época

de ejecución de una pieza, así como aventurar, en gran medida, su estado de conservación.

En la guerra de patentes, cada autor, proponía su propio método de distribución de las armaduras, con mayor o menor acierto técnico. Según los comentarios de José Cebada en la adaptación al castellano de Vachelli, los sistemas con más extensión, durante el cambio de siglo, en España son: Monier, Hennebique, Blanc, Metal Deployé y Rivera (Rosell y Cárcamo, 1994).

El sistema Monier, para los elementos horizontales, contaba con dos barras rectas: una inferior de mayor diámetro y otra superior. Además, una tercera que describe un recorrido en zigzag entre ellas. Las losas se armaban con barras dispuestas en forma de parrilla, siendo más gruesas en una de las direcciones y encontrándose muy cerca de la cara inferior de la losa (Rosell y Cárcamo, 1994).

El sistema Hennebique se caracteriza por la unión de distintas piezas de ferralla mediante barras dobladas o chapas de hierro perforadas, en vez del alambre usado por los demás sistemas.

En el sistema Blanc también llamado "Poutre-Dalle", utilizado en España a través de la Compañía de Sestao, los elementos horizontales se reforzaban mediante tres barras, una más gruesa en la parte inferior, una más fina en la superior, y una tercera describiendo una curva entre ellas, con lo que se buscaba responder a los esfuerzos de flexión, compresión y tracción, respectivamente. Los elementos verticales eran reforzados con cuatro o cinco varillas, de las cuales una se colocaba en el centro, uniéndolas con una armadura trenzada (Rosell y Cárcamo, 1994).

El sistema de Metal Deployé, también llamado Golding, no tenía un carácter tan universal como los otros, puesto que se centraba en la construcción de losas, para lo que se creaba una capa de hormigón con una malla metálica en su interior, soportada por vigas metálicas que quedaban vistas. Aunque, en la parte estructural, este sistema era limitado, si permitía muy buenos resultados para recubrimientos por lo que se utilizaba, en muchos casos, asociado al yeso en vez de al cemento (Rosell y Cárcamo, 1994).

José Eugenio Rivera comienza su trabajo con el sistema Hennebique, pero termina con la creación del suyo propio, en el que combina principios del sistema Hennebique con los del Metal Deployé y aportaciones propias

(Rosell y Cárcamo, 1994). El sistema Rivera proponía, para los elementos verticales, la colocación de barras de hierro en las esquinas y se rodeaba, el conjunto, con una malla de alambre de acero retorcido, con una disposición de 45° respecto a la vertical (Domouslo, 2005). Los detalles para diferenciar unas patentes de otras se profundizan en los trabajos de Rosell, J. y Cárcamo, J. (1994) y Domouslo (2005).

A la hora de estudiar las armaduras, dentro de los prefabricados decorativos (figura 9), la distinción de sistemas es más compleja puesto que, en muchas ocasiones, los refuerzos de estos elementos se simplificaban al no tener que soportar grandes cargas.

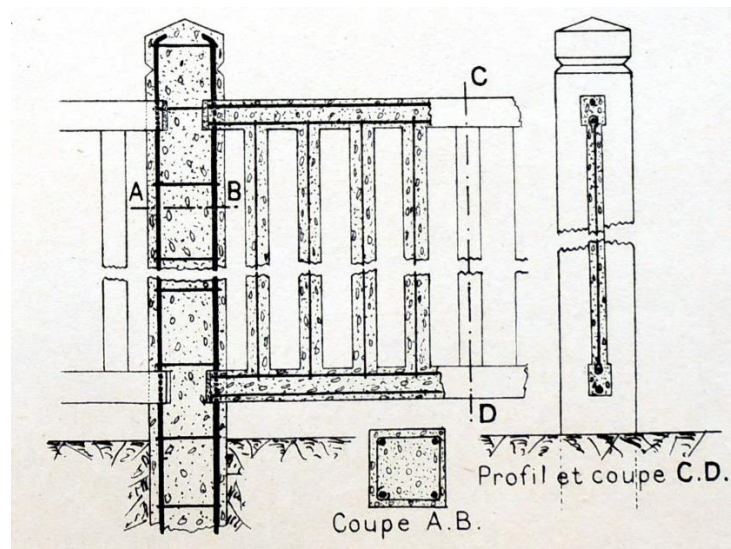


Figura 9. Ejemplo de la armadura interna de una barandilla de hormigón armado.
Extraída de Lefol (1906) Colección Particular.

Diferenciar unos sistemas de otros, en ocasiones es complicado, en cambio, el sistema Monier (figura 10), por su método de construcción más cercano al modelado, genera un sello característico. En él, la armadura se encuentra muy cercana a los bordes, deformada para adaptarse a las distintas formas y, normalmente, las piezas se rematan con diversos efectos de morteros texturados.



Figura 10 . Maceta ornamental (izquierda) y vista inferior del monumento a la Virgen de Orduña (derecha) , ambos realizados bajo el sistema Monier. 2020.

Los procesos de oxidación de las armaduras son uno de los principales causantes de la destrucción de los elementos decorativos en hormigón. Suelen causar manchas y, en un estado avanzado, la ferralla se expande y provoca el reventado de las piezas. Constituye uno de los problemas más habituales y, a su vez, de los que más dificultades entraña en su intervención. Esta casuística se aborda con mayor detenimiento en el capítulo 6 de la presente tesis doctoral.

4.2. Técnica de fabricación

A finales del s. XIX y principios del s. XX, la piedra artificial era muy utilizada por los arquitectos, ya que permitía incorporar a sus obras muchos detalles ornamentales, sin tener que preocuparse por el alto costo que, hasta entonces, suponía manufacturarlos con técnicas de cantería (Burgos 2009).

Además, esta nueva técnica permitía, al arquitecto, participar en el diseño de los distintos elementos. En primer lugar, se preparaba un modelo en escayola o barro que se modificaba según las indicaciones del citado arquitecto o promotor; después se ejecutaba un molde en escayola. Dependiendo de las necesidades de la pieza: el molde se rellenaba en masa;

o la parte externa con un mortero casi en seco y la parte interior con cemento rápido y ladrillo; o a base de lechadas (Chavarria, 2003).

En España la primera fábrica de objetos y piezas prefabricadas en hormigón armado fue la abierta por Ricardo Martínez Unciti en 1901 (figura 11) (Rosell y Cárcamo, 1994).



Figura 11. Talleres de R. Martínez Unciti en Madrid. 1904. Biblioteca Central Militar (Madrid) Extraído de Burgos (2009). En primer plano aparecen varios moldes y, alrededor, elementos ya positivados.

El primer paso en la fabricación de estos elementos es la elaboración de un prototipo, que podía ser efectuado en yeso, o modelado en arcilla. Para las figuras de revolución, muy habituales en los elementos decorativos, se solía utilizar la técnica de terraja. Esta técnica consiste en una plancha metálica recortada, según el perfil de la pieza deseada, que actuaba como generatriz. Dicha terraja se encastra dentro de una caja de madera, la cual cuenta con un eje, sobre el que se va aplicando el yeso. Este, al girar, adquiere una forma que corresponde al negativo de la plancha (Chavarria, 2003).

En primer lugar, se diseña, sobre papel, la forma que se quiere obtener; después se dibuja la silueta sobre una plancha metálica y se elimina la parte que correspondería al objeto deseado. Esta pieza puede ser reforzada con una plancha de madera, si es necesario. La silueta ya recortada y limada se coloca en una caja preparada previamente, con un eje en la parte central.

A dicho eje se le suelen añadir pasadores, cuerda, o esparto para mejorar el agarre. A continuación, se comienza a verter el yeso lentamente sobre el eje, mientras se hace rotar el mismo. Conforme crece el diámetro de la pieza esta va adquiriendo la forma deseada (Chavarria, 2003; Navarro, 2011).

Una vez endurecido el yeso se extrae de la terraja y se saca o se corta el eje central. En este punto se aprovecha a lijar posibles imperfecciones en la superficie, o añadir elementos que no se puedan generar por rotación: peanas con forma de prisma, pequeños detalles, inscripciones, etc. En este punto ya contaríamos con un prototipo acabado (Chavarria, 2003; Navarro, 2011).

Si el artesano y el arquitecto, o promotor del encargo, están satisfechos con el aspecto del prototipo se comienza su reproducción a través de un molde. Hasta principios del siglo XX lo más habitual era la utilización de un molde rígido de escayola de dos o más partes. Para la realización de este, se suele aplicar un sellador sobre el prototipo y después un desmoldeante para favorecer la posterior extracción.

Primeramente, se prepara una cama de arcilla en la que se incrusta la pieza, de manera que quede a la vista tan solo la superficie correspondiente a una de las partes del molde. Cuando se trabaja con moldes rígidos la colocación y limpieza de la zona de junta es muy importante ya que, debido a su inflexibilidad, la existencia de cualquier contrasalida bloquearía la apertura del molde (Chavarria, 2003; Navarro, 2011).

Sobre la superficie del barro se modelan una serie de llaves, con formas semicirculares o tronco piramidales, que permitan la correcta unión entre las distintas partes del molde. Llegados a este punto, se vierte escayola sobre el prototipo y la cama de arcilla para, posteriormente, dejarse fraguar. Se puede preparar una caja que sirva de encofrado para la parte exterior, o aplicar el yeso en capas sucesivas (Chavarria, 2003; Navarro, 2011).

Una vez fragua el yeso se gira la pieza y retiramos el barro. Sobre la superficie del prototipo y la parte del molde que ya hemos obtenido, aplicamos, generosamente, un desmoldante. Se repite el proceso de verter la escayola y se deja secar.

Cuando el molde presente una dureza suficiente se procede a raspar la superficie exterior de la junta y, con cuidado, se introduce la punta de un cuchillo o una espátula en distintos puntos, hasta que las dos piezas del molde se separen (Navarro, 2011). Se extrae el prototipo y se limpia el interior del molde.

A partir de esta fase ya se puede comenzar la producción en serie, para lo cual se aplica un desmoldante al molde, para lo que se cierra y se sujetan con unas cinchas las distintas partes. Si se desea que el elemento cuente con armadura, esta se colocaría también dentro del citado molde. Seguidamente, se prepara la pasta, el mortero, o el hormigón deseado y se vierte en el interior. Si se considera necesario se puede aplicar una primera lechada para lo que se gira el molde de manera que esta recubra toda la superficie y, después, se rellena totalmente con la misma mezcla u otra. Si el modelo lo permite, también se puede realizar un único vertido. En este paso, es importante hacer vibrar la pieza para que no queden inclusiones de aire dentro del molde. Una vez fraguado, se puede extraer el positivo y se repite el proceso (figuras 12 y 13).

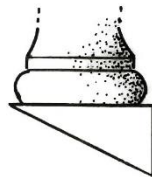


Figura 12. Fabricación de un balaustre con técnica tradicional I. Autoría propia con la colaboración de ACC Escultura. 2019.





Figura 13. Fabricación de un balaustre con técnica tradicional II. Autoría propia con la colaboración de ACC Escultura. 2019.

Dependiendo de la complejidad del elemento a reproducir se puede utilizar un molde rígido de yeso, de hormigón, de madera o metálicos (Paya, 1975). Actualmente los más utilizados son: moldes rígidos metálicos, de fibra de vidrio con resina de poliéster o moldes elásticos a base de silicona (figura 14). En estos aspectos se profundizan en el capítulo 7 de la presente tesis doctoral.



Figura 14. Molde de fibra de vidrio y resina de poliéster utilizado para la reposición de elementos en el Torreón de Zarautz.2019.

Los citados moldes se pueden rellenar con gran variedad de materiales, dependiendo del resultado que se busque. Históricamente, hasta la fase de estandarización, como se ha visto en el apartado de las armaduras, cada autor o patente recomendaba sus propias dosificaciones.

A la hora del mezclado, al igual que en la actualidad, se usaba una hormigonera para homogeneizar la mezcla (figura 15). En teoría, al preparar un mortero, se introduce en la hormigonera una parte del agua y poco a poco, se va añadiendo el conglomerante, después se vierte el resto de agua, y se deja mezclar al menos un minuto. Cuando se va a preparar un hormigón, primero se introduce la mitad del agua, de la grava y de la arena necesarias para, posteriormente, añadir el cemento y, por último, el resto del agua, la grava y la arena. La mayor granulometría requiere un tiempo de amasado de, al menos, tres minutos (Herreruela, 2014).



Figura 15. Ejemplo amasado con una hormigonera. Extraída de Extraídos de Lefol (1906) Colección Particular.

Aunque la dosificación condiciona fuertemente las características del hormigón o mortero resultante, desde el punto de vista de la Conservación y Restauración, este dato no suele ser muy representativo dado que, en muchas ocasiones, debido a la exposición a un entorno agresivo, o a una ejecución poco cuidada, las obras presentan discontinuidades respecto a la concentración de elementos y, por ende, diferente comportamiento según las zonas.

Una vez rellenos los moldes, se suele proceder al vibrado de la pieza, con la intención de compactar el material y eliminar las posibles inclusiones de aire. Aunque esto mejora las capacidades mecánicas del hormigón resultante, es especialmente útil en la realización de prefabricados, puesto que permite usar mezclas más secas, o con áridos de gran tamaño, además de reducir los posibles defectos tras el desmoldeo (Paya, 1975). El vibrado suele efectuarse con un vibrador de hormigón, tanto de encofrado como pervibradores, o colocando el molde sobre una mesa vibradora. En moldes pequeños, o cuando no se contaba con medios suficientes, este proceso se llevaba a cabo golpeando repetidamente el molde con una maza de goma.

Tanto la preparación del molde, como el positivado y la producción en serie se pueden realizar en la propia obra, o en grandes fábricas especializadas en este tipo de elementos (Payá, 1975).

En algunas ocasiones, se introducen modificaciones en el proceso para buscar otros acabados. En la industria se utilizan tres estrategias para modificar el acabado final de las piezas: la variación de los materiales o la inclusión de áridos especiales que después queden vistos; modificar las características de la superficie del molde; o trabajar la pieza una vez endurecida (Payá, 1975).



5. PARTE EXPERIMENTAL



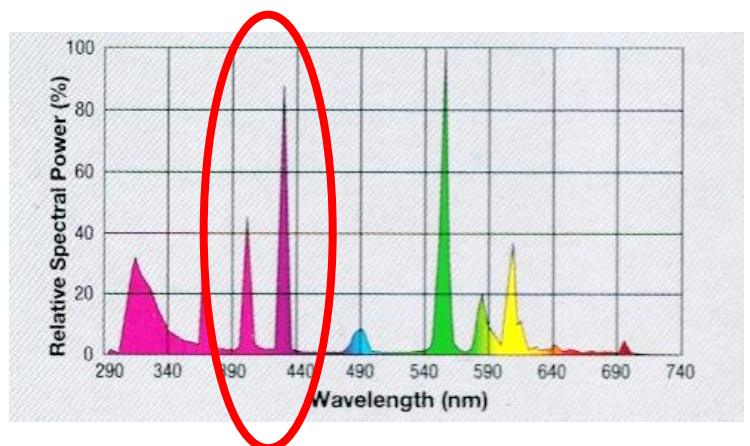
5. PARTE EXPERIMENTAL

En este capítulo se recoge la metodología específica utilizada para los distintos ensayos y mediciones llevados a cabo en esta tesis.

5.1. Envejecimiento acelerado

Para conocer el comportamiento futuro de las piezas, en el estudio de materiales, se recurre al uso de cámaras de envejecimiento acelerado. Estas máquinas fueron especialmente creadas para producir, de forma artificial, unas condiciones controladas en las que los procesos naturales de degradación se vean acentuados. En este trabajo se ha utilizado, en el capítulo 6, una cámara de entorno controlado que busca acercarse a las condiciones descritas en la norma UNE-EN ISO 11341:2005. Como base se ha usado un terrario de cristal de 40x25x20 cm el cual se ha protegido en sus laterales, con espuma aislante y, en su parte inferior y superior, con una rasilla cerámica. Las fuentes de calor que se han utilizado son: un calentador Heat Mat de 8 W y dos Ceramic Heater de 100W, todo ello de la casa comercial Exoterra. Para la incorporación de humedad se ha usado el Reptile Fogger de la casa Inkbird, un humidificador a base de ultrasonidos. La radiación escogida es la de una bombilla Reptile UVB 200 de 25 W, también de la casa comercial Exoterra, la cual se ha elegido por ser rica en ultravioletas entre 390 y 440 nm (figura 16). Para controlar los distintos valores se ha recurrido al controlador termostato/higrostató digital de la casa comercial Reptiland, el cual iba activando o desactivando los distintos elementos según los valores en el interior de la cámara. Esta construcción ha proporcionado una luz de tipo ultravioleta-visible, una temperatura de 50°C con una oscilación de $\pm 5^\circ \text{C}$ y una humedad relativa del 80% con una fluctuación de $\pm 10\%$ (figura 17). Las muestras se han sometido a cuatro ciclos de cien horas en el interior de este dispositivo.

Figura 16. Espectro de emisión de la lámpara Reptile UVB 200.



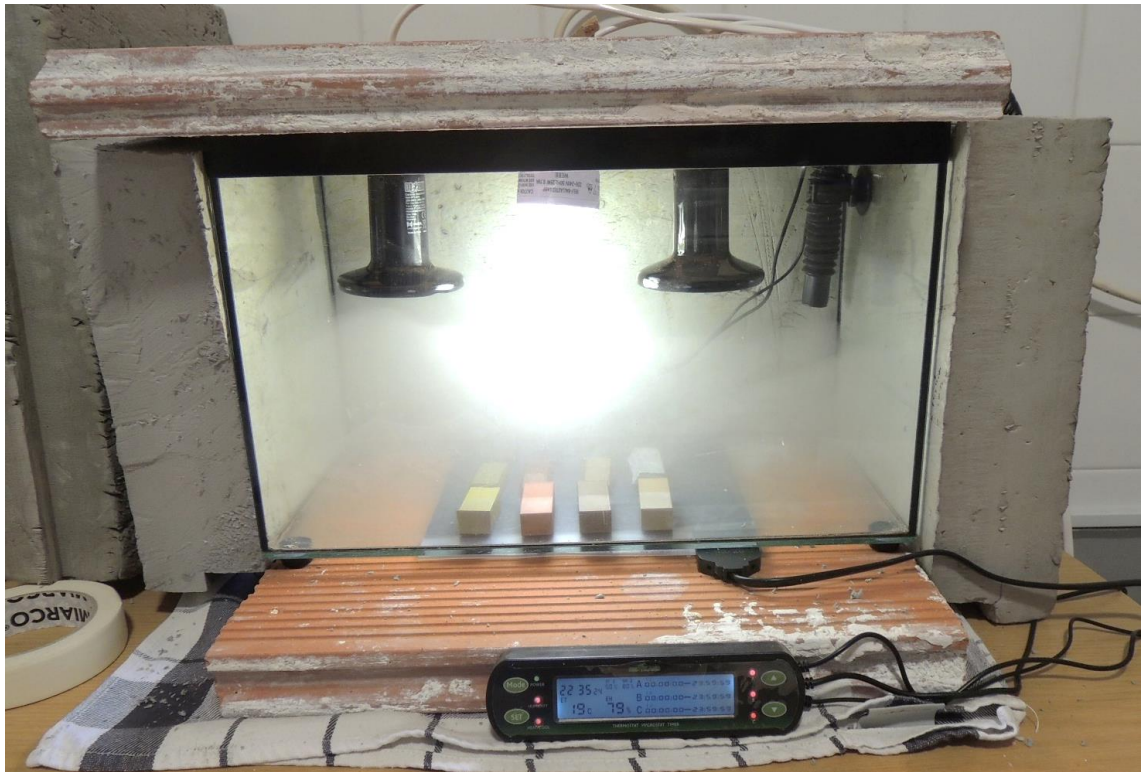


Figura 17. Cámara de entorno controlado durante el ensayo

5.2. Medición de pH y salinidad

Para medir el pH y la concentración de sales en líquidos se ha utilizado el medidor de pH LAQUAtwin pH-11 y el conductímetro LAQUAtwin EC-11, de la casa comercial Horiba. Antes de su uso se ha realizado un calibrado simple de un punto con una solución estándar de pH 7 y una de 1.41 mS/cm respectivamente.

Para la medición del pH en sólidos se ha optado por una disolución de fenolftaleína en etanol de 5 %. Este método es muy común en el estudio de morteros y hormigones bajo procesos de carbonatación (figura 18). Estas mediciones han sido de gran utilidad en las pruebas realizadas para el capítulo 6 y sobre todo en el ensayo de penetración de contaminantes en el apartado 5.6.

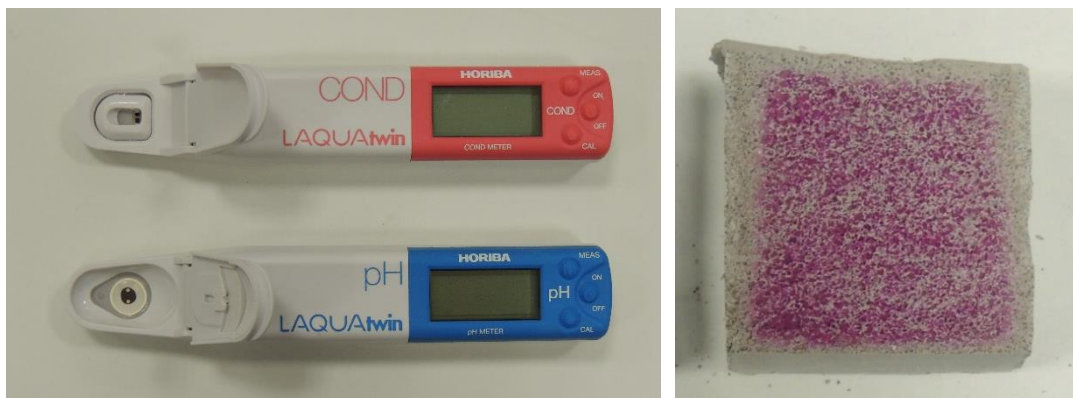


Figura 18. Medidores utilizados y una muestra de mortero a la que se le ha aplicado fenolftaleína.

5.3. Caracterización de morteros a través de la difracción de rayos X (DRX)

La difracción de rayos X es una técnica de análisis estructural, de gran utilidad para el estudio de muestras minerales, capaz de analizar sustancias cristalinas y semicristalinas (Alejandre, 2002; AENOR, 2020). Esta prueba ha sido realizada por los técnicos de Servicios Generales para la Investigación (SGIker) de la UPV/EHU.

Ya que actualmente, en la gran mayoría de casos, las técnicas de DRX son invasivas, se han reaprovechado las muestras realizadas para el trabajo de fin de máster (TFM). Estos materiales fueron tomados bajo la norma UNE-EN 16085.

Se molieron y homogeneizaron manualmente con un mortero de ágata. A continuación, se introdujeron en un difractómetro PANalytical Xpert PRO, equipado con tubo de cobre ($\lambda_{Cu_{K\alpha media}}=1,5418\text{Å}$, $\lambda_{Cu_{K\alpha 1}}=1,54060\text{ Å}$ y $\lambda_{Cu_{K\alpha 2}}=1,54439\text{ Å}$), goniómetro vertical (geometría Bragg-Brentano), rendija programable de divergencia, intercambiador automático de muestras, monocromador secundario y detector PixCel.

Las condiciones de medida fueron 40 KV y 40 mA, con un barrido comprendido entre 5 y $80^{\circ}2\theta$.

Para el tratamiento informático de los difractogramas obtenidos e identificación de las fases presentes se ha empleado el software específico PANalytical X'pert HighScore, en combinación con la base de datos PDF2 del ICDD.

5.4. Preparación de probetas

El primer paso para la realización de las probetas ha sido la preparación de una serie de moldes que se adapten a las medidas requeridas por las distintas normas y ensayos realizados (apartado 5.5 y 5.6).

Los moldes se llevaron a cabo mediante la técnica de molde elástico de bloque. Para este trabajo se utilizó la silicona EASYL 3520 y el catalizador EASYCAT 20 al 5% en peso de la casa comercial Feroxa (figura 19).



Figura 19. Distintos moldes utilizados para la realización de probetas.

El positivado de las probetas se realizó con el uso del cemento CEM II/B-L 32.5 R de la marca Lemona, y la arena A-GRS05 del proveedor Sibelco Europe (figura 20).

Este cemento CEM II/B-L 32.5 R se fábrica dentro de la normativa UNE-EN 197-1: 2011. Contiene entre un 65-79 % en masa de Clinker y un 21-35 % en masa de caliza. La arena A-GRS05 es una arena rodada de base silícea que se extrae de la cantera de Arija (Burgos) y cuenta con una granulometría de entre 0.4 y 0.8 mm.



Figura 20. Materiales utilizados para la realización de probetas

Tanto estos materiales, como su dosificación, 1:3:1 de conglomerante, árido y agua en masa, ha buscado generar unas probetas que se asemejen, lo más posible, al comportamiento de un prefabricado de mortero estándar.

Con el objetivo de mejorar la representatividad de los diferentes ensayos a realizar (tabla 2), todas las probetas se han dejado endurecer un mínimo de 28 días.

Para esta tesis doctoral se han generado un total de 34 probetas de 2 modelos diferentes (figura 21).

Tabla 2. Probetas de mortero fabricadas		
TIPO	Nº	Ensayos
50x50x50 mm	24	Ensayos de penetración de contaminantes
70x70x282 mm	10	Ensayos de sales por capilaridad



Figura 21. Distintas probetas durante en proceso de endurecimiento

En el caso de los mosaicos hidráulicos se ha recurrido a la utilización de piezas actuales fabricadas con técnicas tradicionales de la casa comercial Mosaic Factory. Para obtener un comportamiento más representativo se han pulido mediante lijas de carburo de silicio en seco. Este proceso se efectuó mediante el uso de lijas de 200, 400, 600, 800, 1000 y 1500. Para determinados ensayos las baldosas fueron cortadas en formatos más pequeños con la ayuda de una amoladora (figura 22).



Figura 22. Baldosas comerciales utilizadas para la realización de probetas

5.5. Ensayo de sales por capilaridad

En el Patrimonio Construido, la humedad por capilaridad y las sales que arrastra, suelen ser causantes de muchos deterioros. En este trabajo se han efectuado ensayos para valorar el encolado de los materiales prefabricados

con distintos adhesivos puede influir, positiva o negativamente, en este proceso.

Para ello se prepararon diez probetas de 70x70x282 mm como se indica en el apartado 5.4. Posteriormente, estas piezas se fracturaron manualmente y se encolaron con distintos adhesivos. Con cada encolante se procedió a la unión de una primera muestra directamente y otra con una varilla de refuerzo. Se seleccionó una pieza de fibra de vidrio corrugada de 1 cm de diámetro. Los adhesivos utilizados son tres de naturaleza inorgánica y dos orgánicos: entre los primeros esta pasta de cemento CEM II/B-L 32.5 R, el mortero preparado a base de cales PLM-M de la casa comercial CTS, y un mortero de reparación estructural Axton, a base de cemento Portland. Como encolantes orgánicos, se ha testado el funcionamiento de la resina epoxi EPO 121 de la casa comercial CTS y la resina acrílica Primal B60 al 100%.

Tras una semana de endurecimiento de los adhesivos, se han sometido estas muestras a un ensayo de absorción de sales por capilaridad a partir de los trabajos de Zornoza (2016) y Rodríguez-Navarro y Doehne (1999) (apud Zornoza, 2016). Para ello, se ha introducido la base de cada muestra en un recipiente con una capacidad de 500 mL, y se ha vertido una disolución al 25% p/p de NaCl en agua destilada. Se selló el recipiente con la ayuda de parafina fundida formando una capa de 2 cm aproximadamente.

Al encontrarse sellado, el agua no tiene más remedio que atravesar el sistema poroso de la muestra, arrastrando con ella su alto contenido en sal (figura 23). Se secuencia el fotografiado de probetas durante un periodo de 15 días. Los depósitos de solución salina se van rellenando cuando es necesario.

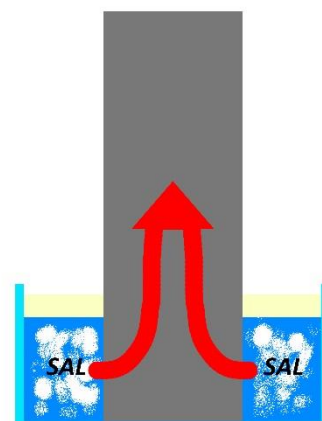


Figura 23. Esquema explicativo del ensayo realizado

Para realizar este ensayo, en el caso del mosaico hidráulico, se han cogido varias piezas comerciales y se han pulido, tal como se explica en el apartado 5.4, cortándose posteriormente en trozos de 5x5 cm. Estas piezas se han fragmentado y encolado con los distintos materiales. Para permitir una entrada homogénea de sales y facilitar su colocación en el baño, se les añade, en el reverso, una capa de 5 cm de espesor del mortero utilizado en las otras muestras (figura 24). Una vez secados se prosigue el ensayo como se ha descrito anteriormente.



Figura 24. Probeta de mosaico preparada para el ensayo de sales por capilaridad.

5.6. Ensayo de penetración de contaminantes

El correcto sellado de las fracturas, en elementos prefabricados, es muy importante si estos están ubicados en exteriores. Un sellado deficiente facilita la entrada de agua al interior de la pieza y, con ella, todos los contaminantes que pueda haber en el ambiente. Además, el arrastre del agua facilita la acumulación de suciedad y agentes biológicos en la parte más externa. Un ejemplo puede ser la penetración de ácidos en el interior de los materiales favorecidos por la entrada de agua al material.

Para conocer el proceso de este ensayo se han preparado cinco muestras patrón que se han sumergido en el baño 1, 3, 5, 24, y 72 horas. Por cada muestra se ha incorporado 500 ml de una disolución al 3% de ácido oxálico en agua destilada. Una vez secas se han partido trasversalmente y se le ha aplicado fenolftaleína al 5% en etanol. Las zonas expuestas al exterior muestran una acidificación entorno a los 5 mm de penetración. Ante estos

resultados se optó por utilizar 1h como tiempo del ensayo estándar. Los encolantes con un funcionamiento adecuado no deberían formar zonas de alteración alrededor de la fractura (figura 25).

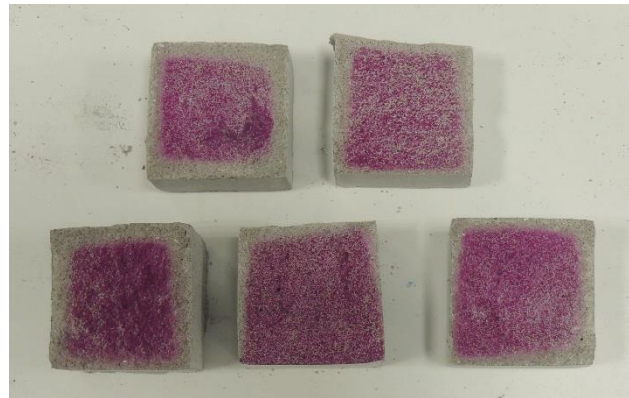


Figura 25. Muestras patrón de los diferentes tiempos y esquema de resultados

Para el ensayo propiamente dicho, en primer lugar, se prepararon probetas cúbicas de 50x50x50 mm, tal como se explica en el apartado 5.4. Estas se encolaron entre si con cada uno de los adhesivos, tanto con espiga como sin ella. Una vez endurecidos los encolantes se sumergieron en un baño con 1L de ácido oxálico al 3% en agua destilada por cada probeta y manteniéndolos en esta disolución una hora. Tras lo cual se extrajeron las muestras y se dejaron secar.

Con la ayuda de una amoladora se seccionaron las piezas transversalmente. A una de las mitades, se le aplicó una disolución de fenolftaleína al 5 % en etanol por aspersion (figura 26).



Figura 26. Proceso de preparación y envejecimiento de las muestras.

5.7. Levantamiento fotogramétrico

De los distintos métodos existentes para la digitalización geométrica del Patrimonio, en este trabajo se ha optado por la fotogrametría digital, por ser una técnica muy versátil y no requerir del uso de costosos equipos.

La fotogrametría, en su sentido más general, consiste en generar modelos tridimensionales, de calidad, a partir de una serie de fotografías. Estas se toman desde diversos puntos de vista. Después, el software va identificando puntos comunes que aparecen en distintas fotografías, permitiendo, en último término, correlacionar todos los puntos entre ellos (Caro, 2012).

En primer lugar, se realizan las fotografías. Por motivos técnicos la fotogrametría requiere una iluminación difusa y homogénea. Habitualmente, la toma de fotografías se realiza in situ instalando un pequeño equipo de iluminación (figura 27). Poder mover la pieza facilita el trabajo, aunque no es estrictamente necesario, pudiendo escanear piezas adosadas a la estructura o que, por sus características, no pueden ser manipuladas.



Figura 27. Set fotográfico portátil instalado en Punta Begoña para la captura fotográfica. 2019.

Las fotografías se descargan en el ordenador y se introducen en el software libre VisualSFM 0.5.26 (Changchang Wu) y las herramientas complementarias PMVS/CVMS de Yasutaka Furukawa's.

Una vez cargadas, se procede al emparejamiento automático de fotografías, con lo que se realiza una primera reconstrucción 3D, en la que ya se puede visualizar parte de los puntos del objeto en el espacio. A partir de ellos, se genera la nube de puntos densa la cual, posteriormente, exportamos (figura 28).

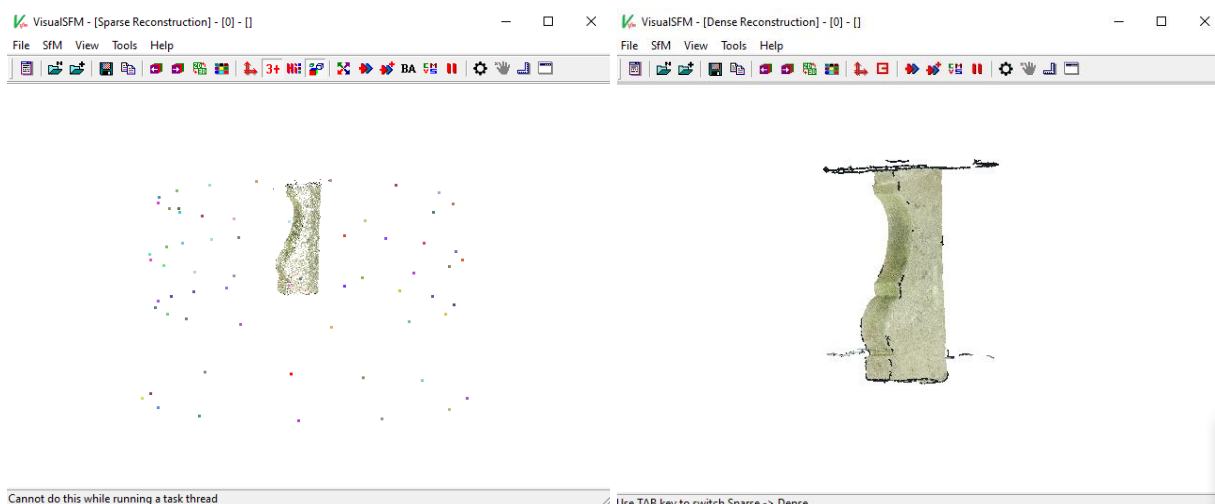


Figura 28. Nube de puntos (izq.) y nube de puntos densa (dcha.). 2019.

La nube de puntos densa se exporta a otro software, Meshlab 2016.12, el cual convierte los distintos puntos en una malla tridimensional (figura 29). Finalmente, con la ayuda de Blender 2.8, se corrigen las posibles

aberraciones en la malla así como los errores (figura 30). En este punto se podrían realizar modificaciones como reintegraciones volumétricas de zonas pérdidas, o la inclusión de una fecha de fabricación que facilite la discernibilidad.

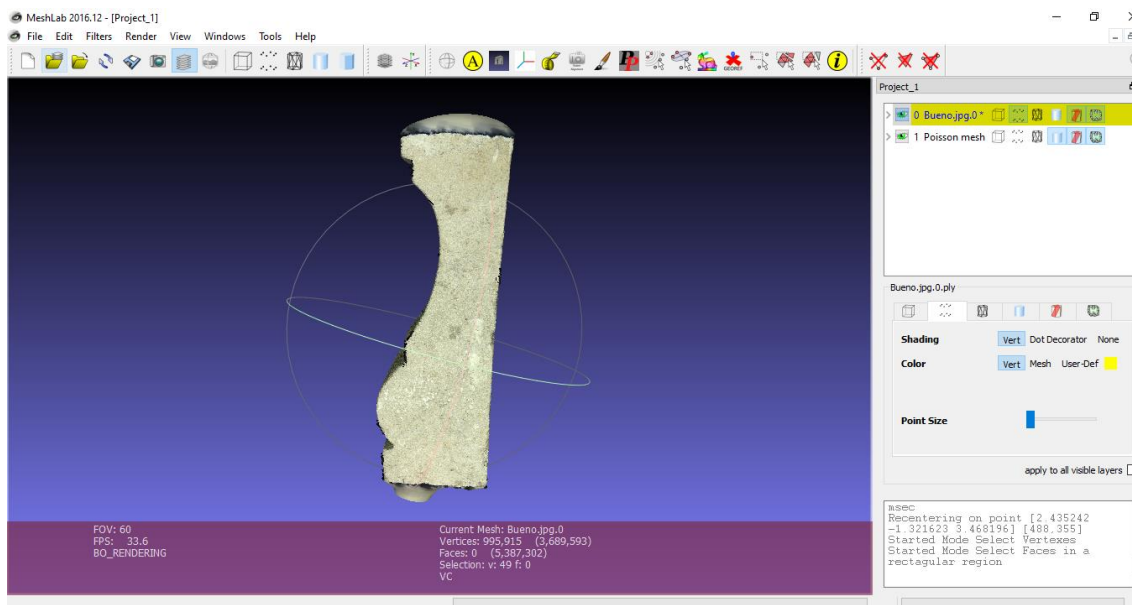


Figura 29. Realización de la malla en el software Meshlab.2016.12.

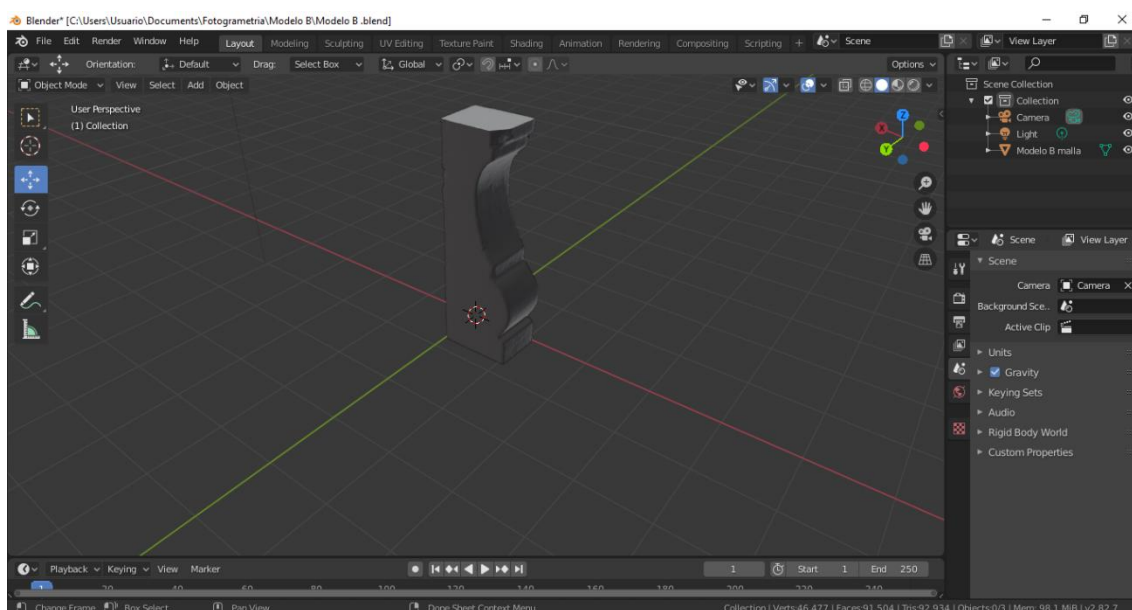


Figura 30. Modelo 3D finalizado en Blender.

5.8. Impresión 3D con técnica FDM

La técnica de modelado por deposición fundida (FDM), consiste en la construcción de elementos tridimensionales, a través de la acumulación de capas de un polímero fundido depositado con la ayuda de un extrusor.

Terminado el modelo en Blender, se exporta en un archivo .obj para, posteriormente, introducirlo en el software de laminado. Como software de laminado se ha utilizado el Ultimaker Cura 4.4.1

En este programa se prefijan las características finales de la impresión como temperatura del extrusor y de la cama (según las indicaciones del fabricante del filamento), la densidad de relleno y la calidad de la impresión. En el contexto de la presente tesis doctoral, el último parámetro ha sido el más valorado ya que es el que condiciona, en mayor medida, el resultado final obtenido.

La calidad viene indicada por la altura de cada capa, en este caso la impresora utilizada ha sido la Ender 3 de la casa comercial Creality (figura 31) la cual permite escoger entre cuatro alturas de capa 0.28, 0.2, 0.16 y 0.12 mm.

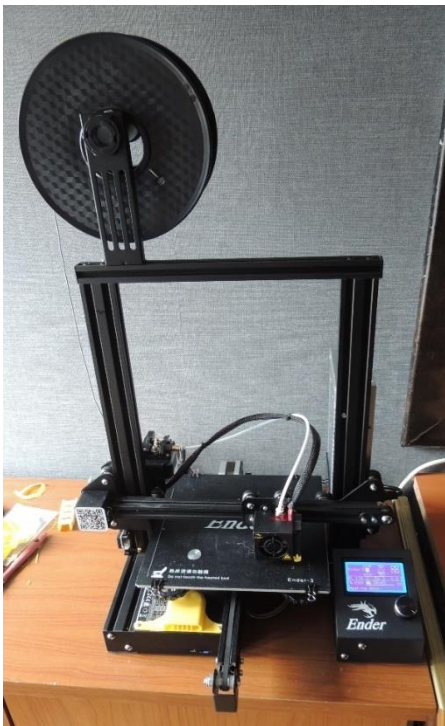
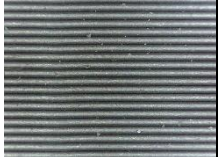










Figura 31. Creality Ender 3. 2020.

La elección de la calidad deseada es muy importante, puesto que la impronta dejada por las láminas se traslada al modelo final (tabla 3). La calidad no repercute en gran medida en el consumo de filamento de la impresora, pero si influye, de manera determinante, en el tiempo de impresión de la pieza. En la tabla 4 se compara la cantidad de filamento consumida y el tiempo de impresión de un pequeño muñeco.

	0.28	0.2	0.16	0.12
Prototipo				
Reproducción				

Calidad	0.28	0.2	0.16	0.12	
Filamento	17 g	16g	15g	15g	
Tiempo de impresión	1h 41m	2 h	2h 41 m	3h 6m	

Algunos softwares de laminado comienzan a introducir, de manera experimental, una opción con la que, en lugar de la forma deseada, se imprime un molde el cual se rellena con el material elegido. Esta opción no se ha llegado a utilizar en esta tesis, pero se trata de una característica interesante para ahondar en futuros trabajos.

5.9. Medición de color y brillo

El aspecto superficial es una característica muy importante a la hora de evaluar distintos procesos de intervención en el Patrimonio Cultural. Dos de los aspectos más determinantes, al tener en cuenta en la descripción de una superficie, pueden ser su color y su brillo.

En este trabajo, para controlar el color y sus posibles cambios de manera cuantitativa, se ha utilizado un colorímetro NR10QC de la marca 3NH, con el observador a 10° y el Iluminante D65 (figura 32). Las mediciones de color se han realizado bajo la norma UNE-EN 15886. Tal como indica la misma, las medidas se expresan a través de tres valores (L^* , a^* y b^*) marcando unas coordenadas en el espacio CIELAB. Para evaluar los cambios de color se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$\Delta E_{ab} = [(L^*_a - L^*_b)^2 + (a^*_a - a^*_b)^2 + (b^*_a - b^*_b)^2]^{1/2}$$

En las intervenciones en patrimonio se considera un cambio perceptible por el ojo humano cuando $\Delta E > 3$ (ASTM, C876-91).

Para controlar el nivel de brillo, se ha utilizado un brillómetro modelo YG60S de la marca 3NH, con un ángulo de medida de 60° (figura 32).



Figura 32. Colorímetro y brillómetro. 2020.



***6. PROBLEMAS OCASIONADOS
POR LA EXPANSIÓN DE LAS
ARMADURAS: APROXIMACIÓN
A SU CONSERVACIÓN
Y RESTAURACIÓN***

6. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA EXPANSIÓN DE LAS ARMADURAS: APROXIMACIÓN A SU CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

En origen, se pensaba en el hormigón armado como un material eterno, basándose en la premisa de que su elevada alcalinidad protegería la armadura de acero del exterior (Burgos, 2009). Esta idea fue muy extendida hasta bien entrada la década de 1970. La industria del hormigón llegó a considerar que era un material completamente estable y libre de cualquier necesidad de revestimiento, cobertura protectora, así como un mantenimiento futuro. Las necesidades de cuidados del hormigón se empezaron a valorar tras observar que muchas de las construcciones, llevadas a cabo en Inglaterra a lo largo de 1950-1960, comenzaban a presentar deterioros graves en tan solo 10-15 años después de su construcción (Odgers, 2018).

Actualmente, se está estudiando en profundidad el comportamiento del hormigón, ya que se trata de un sistema heterogéneo muy complejo, de elevada porosidad y que, normalmente, se encuentra en ambientes que son capaces de alterar sus componentes (Broto, 2005).

Además de esto, en muchas ocasiones, las obras se realizaban con un hormigón muy poroso o de poco espesor (factores intrínsecos) lo que permitía la entrada de agentes externos y el comienzo de los procesos de degradación del acero. Por otro lado, determinados entornos, con alto grado de humedad, ambientes contaminados de naturaleza ácida, o con presencia de sales (agentes extrínsecos), también han podido generar serios problemas a los elementos de hormigón armado (Cobo, 2001).

Desde la arquitectura y la ingeniería, se suelen ir eliminando y sustituyendo los elementos, conforme su estado de degradación hace que dejen de cumplir su función (Cobo, 2001). Fuera de su coste económico, estas intervenciones no suelen suponer un mayor problema, pero esta dinámica no es aplicable a la Restauración de Bienes Inmuebles de Interés Cultural, ya que, los criterios actuales buscan conservar al máximo el original.

Muchos elementos prefabricados de hormigón se han ido sustituyendo conforme presentaban daños, con lo que se ha llegado al punto de no conservarse nada del original. Un buen ejemplo de ello es la intervención llevada a cabo en el Torreón de Zarautz a lo largo del 2019.

El torreón de Zarautz se encuentra situado en la parte superior del parque de Vista Alegre, en dicha localidad. Se trata de una rotonda de estilo clásico construida en hormigón armado en 1913, como parte de los jardines del palacio de los Condes de Villapadierna. Cuenta con un grado de protección de elemento patrimonial inventariado, no solo por ser el único vestigio de la gran finca a la que pertenecía, si no por las innovaciones técnicas llevadas a cabo en su construcción, siendo de los primeros edificios construidos en hormigón armado en el País Vasco (Calvo, 2016).

La terraza superior de este edificio tenía toda su superficie enmarcada por una balaustrada de elementos prefabricados de mortero, con forma de aspa. Estos habían sufrido grandes daños debido a los procesos de oxidación y expansión de las armaduras (figura 33), pero aun contaban con bastantes fragmentos originales. En la intervención realizada en 2019 se optó por crear un molde y reproducir de nueva factura, todos los elementos, no conservándose en la actualidad ninguna muestra de los materiales y técnicas usados en su origen. A través de la documentación recogida por el grupo GREDA, en los meses previos a la intervención, se podría haber salvado una parte del total que, pese a no ser el ideal, conservaría el valor innovador que supuso en el momento de su construcción esta obra y que actualmente se ha perdido.



Figura 33. Torreón de Zarautz y detalles de sus balaustradas

6.1. Factores de alteración y procesos de deterioro habituales en las armaduras

Como se ha descrito anteriormente, la combinación del hormigón con una armadura interna presentaba grandes ventajas, ampliando los modelos estructurales posibles, siendo un material barato y resistente al fuego (Burgos, 2004).

De esta combinación, hierro-hormigón, el elemento más sensible a los agentes de deterioro es el hierro, pero es protegido del exterior por el hormigón. Esta protección, por un lado, es a nivel físico, a mayor espesor del hormigón y menor porosidad, más difícil será para los agentes de deterioro entrar en contacto con el metal. Por otro lado, la alta alcalinidad de los morteros de cemento, entre pH 12.5 y 13.5, genera un proceso electroquímico que modifica la superficie del metal, dando lugar a una capa protectora de unos 10 nm, que pasiva el material, lo que significa que deja de reaccionar con el medio y se bloquean los procesos de degradación (Cobo, 2001).

Los dos procesos de deterioro más comunes y peligrosos, para los elementos de hormigón, son la carbonatación y la presencia de determinados iones. Dichos procesos anulan la protección generada por el hormigón ocasionando la degradación de la armadura interna. También tienen mucha importancia la disponibilidad de oxígeno y la humedad ambiental ya que, sin los niveles adecuados de cada uno, los procesos de carbonatación y el ataque iónico no podrían producirse (Odgers, 2018).

6.1.1. Factores intrínsecos

Los factores intrínsecos de deterioro del hormigón armado suelen estar relacionados con el uso de materiales inadecuados, o una ejecución defectuosa (colocación no conveniente de las varillas, dosificación incorrecta, etc.) (Broto, 2015). Como se ha visto en el apartado 4.1, la selección correcta de los materiales es muy importante. La elección de áridos de baja calidad, tratados inadecuadamente, puede debilitar la resistencia del hormigón, a largo plazo. La mala dosificación, por un lado, puede generar problemas estructurales y, por otro, si el hormigón resultante es excesivamente poroso (como en el caso de una mezcla con una cantidad muy grande de agua), la humedad y los contaminantes penetrarán, con mayor facilidad hasta las armaduras. Por último, cabe destacar la utilización intencionada de algunos aditivos que han

demostrado ser muy dañinos. Es el caso del uso de agua de mar como acelerador de fraguado, lo que rompe con rapidez el estado de pasivación de las armaduras, comenzando los procesos de degradación mucho antes y de forma generalizada (Herreruela, 2014; Odgers, 2018).

Una puesta en obra incorrecta de los materiales produce: falta de homogeneidad en la mezcla; la aparición de coqueras o nidos debido a un vibrado insuficiente (burbujas de aire en las que la grava queda expuesta) (figura 34); o un fraguado inadecuado, por ejemplo, si las piezas secan con gran rapidez, antes de que terminen los procesos de hidratación de los componentes (Herreruela, 2014; Odgers, 2018).

Una localización inadecuada de las armaduras también puede producir graves problemas. Cuanto más cerca se encuentren estas de la superficie, más facilidad va a tener la carbonatación y los agentes de deterioro para llegar a la armadura, además de menos capacidad para el hormigón de aguantar los esfuerzos producidos por la expansión de las armaduras (figura 35).



Figura 34. Marcas características de un vibrado insuficiente y detalle de una coquera o nido. Muro de contención en la C\Tres de Noviembre – Santander. 2019.



Figura 35. Muro de hormigón armado muy deteriorado por una mala ubicación de la armadura (Erandio). 2018.

La calidad de las aleaciones utilizadas para las armaduras va a afectar a la velocidad de alteración pero, aunque sea un acero de gran calidad, va a seguir siendo susceptible de verse atacado por el medio. En este aspecto, para esta tesis doctoral, se han sometido 4 muestras de diferentes aceros (tabla 5) al envejecimiento descrito en el apartado 5.1, lo que produce, finalmente, procesos de alteración, en distinto grado, en todos ellos (figura 36).

Tabla 5. Porcentajes de elementos aleados en los distintos aceros según el fabricante (%)									
		Carbono (C)	Manganeso (Mn)	Niobio (Nb)	Cromo (Cr)	Silicio (Si)	Molibdeno (Mo)	Vanadio (V)	Cobalto (Co)
1	Acero Niolox	0.8	-	0.7	12.70	-	1.10	0.9	-
2	Acero 440 B	0.95	1	-	16	-	0.75	-	-
3	Böhler n690	1.08	0.40	-	17.30	0.40	1.10	0.10	1.50
4	Böhler K720	0.90	2	-	0.35	0.25	-	-	0.10

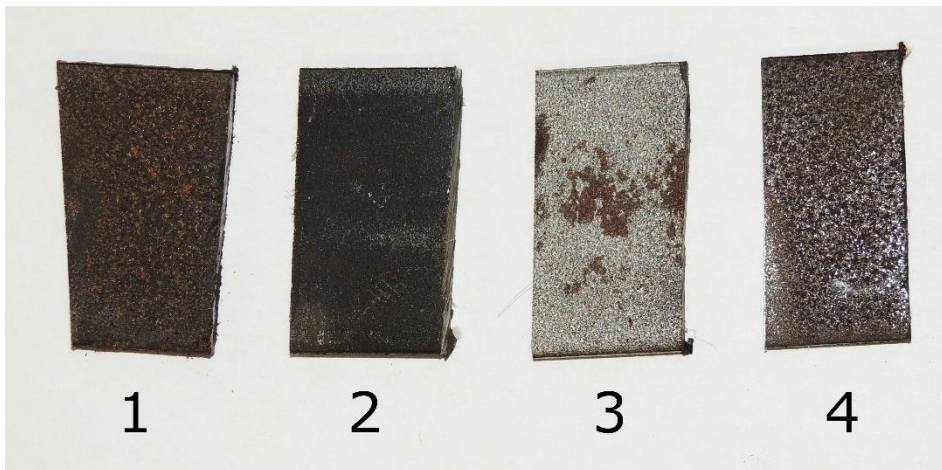
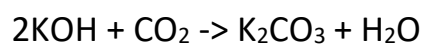
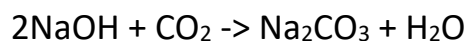
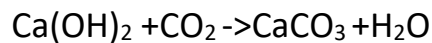


Figura 36. Muestras de aceros tras 300 horas de envejecimiento acelerado.

6.1.2. Carbonatación

Las armaduras metálicas no sufren procesos de corrosión mientras se mantengan en un ambiente alcalino y libre de cloruros ($\text{pH} > 10$) (Broto, 2015; Odgers, 2018). El cemento Portland tiene una elevada alcalinidad por la presencia de hidróxidos de calcio, sodio y potasio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH y KOH). El problema radica en que estos elementos interactúan con el CO_2 ambiental, en una reacción de neutralización, transformándose en carbonatos y, por ende, disminuyendo el pH (Odgers, 2018):



Este proceso se primero en la superficie de las piezas y va penetrando hacia el interior (figura 37). En el momento que alcanza a las armaduras, la pasivación desaparece y comienzan los procesos de oxidación. La norma UNE-UN 112011 describe como conocer el estado de carbonatación de una pieza a través de la extracción de testigos y la aplicación de fenolftaleína, así como el calcular a qué velocidad avanza este proceso.



Figura 37. Muestra de mortero carbonatada a la que se le ha aplicado una solución alcohólica de fenolftaleína. Las zonas exteriores que no aparecen tintadas se encuentran carbonatadas.

2021.

6.1.3. Iones despasivantes

La presencia de iones despasivantes, especialmente cloruros, acelera gravemente los procesos de degradación de los metales. Estos pueden tener su origen en el propio hormigón (áridos mal lavados, uso de agua de mar o inclusión como aditivo). También pueden proceder de fuentes ambientales como puede ser la sal para evitar el hielo en las carreteras, o la niebla salina procedente del mar. Los cloruros rompen la capa protectora que los álcalis forman sobre el metal, actuando como catalizadores de los procesos de oxidación (Odgers,2018).

6.1.4. Procesos de corrosión

Los procesos de corrosión del hormigón originan una reacción electroquímica, en la que distintos iones, utilizan el agua presente en los poros y la propia armadura, para moverse. La superficie de dicha armadura, cuando esta no se encuentra pasivada, tiene zonas que actúan como ánodo y, otras, como cátodo. En las zonas ánodo, la superficie de metal (Fe) se disuelve formando cationes de hierro (Fe^{+2}) en el agua de los poros y, a su vez, carga negativamente las zonas del cátodo. Los cationes de hierro (Fe^{+2}) se combinan con los grupos OH^- lo que genera hidróxido de hierro II y III ($Fe(OH)_2$ y $Fe(OH)_3$). Estos productos se combinan con la propia matriz metálica y el oxígeno, para producir óxido de hierro en la región del ánodo (figura 38) (Odgers, 2018).

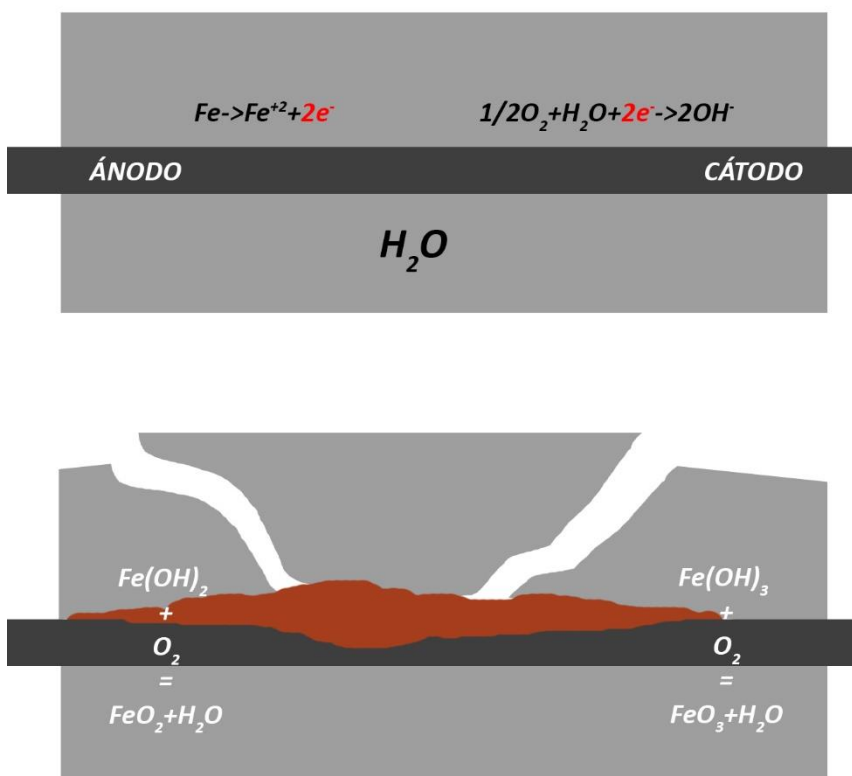


Figura 38. Esquema de las reacciones de degradación de las armaduras.2021.

Dependiendo de las condiciones del ánodo se puede formar Fe_2O_3 o Fe_3O_4 . Cuando este dispone de suficiente oxígeno se forma Fe_2O_3 , pero cuando es limitado (hormigones saturados de agua) aparece Fe_3O_4 . Esta diferencia es muy significativa, ya que el Fe_2O_3 es muchísimo más expansivo y logra ocupar 7 veces más que el hierro metálico que lo formó, por lo que produce, muchos más daños por expansión (Odgers, 2018).

6.2. Clasificación por niveles de deterioro

En este trabajo se han propuesto tres niveles de deterioro que se pueden identificar, visualmente, aunque, en muchas ocasiones, sería recomendable contar con acceso a algunas técnicas que permitan conocer, de manera más directa, el estado de las armaduras.

Las dos técnicas más utilizadas son el **georradar** completado con el mapeo del **potencial de corrosión**. El georradar (GPR -Ground Penetrating Radar) consiste en una técnica que emite ondas electromagnéticas, las cuales son absorbidas y reflejadas por los materiales de distinta manera. Esta técnica es muy apreciada para conocer la localización y forma exacta de las armaduras (Odgers, 2018). Existen radares preparados especialmente para su uso en piezas de hormigón (figura 39), o también, se pueden utilizar los diseñados para estudio del suelo (Damas et al, 2019).



Figura 39. Radar para el estudio de armaduras en el hormigón armado. Demostración realizada en las XIII Jornadas de Conservación y Restauración – Materiales y técnicas innovadores para la conservación y restauración del hormigón: Innova Concrete. 2019.

Una vez conocida la ubicación de las armaduras, podemos averiguar su estado de conservación midiendo el potencial de corrosión. Como

limitación, este sistema, requiere el poder acceder a la armadura descubierta en algún punto. La técnica consiste en comparar el potencial eléctrico de la armadura, con el de un electrodo de referencia, colocado sobre la superficie de la obra. Los procesos de corrosión, al consistir en una reacción electroquímica, modifican estos parámetros permitiendo conocer la intensidad y localización de estos (Cobo, 2001; Odgers, 2018). Los detalles para la realización correcta de esta medición se encuentran recogidos en las normas UNE 112083:2010 y ASTM C876-91.

Otras técnicas secundarias, muy usadas para el estudio de las piezas de hormigón, son la termografía y la velocidad de pulso ultrasónico (figura 40 y 41). Estas técnicas no nos pueden aportar información directa del estado de las armaduras, pero son muy útiles para detectar fracturas y ampollas que aún no se aprecien en la superficie (Odgers, 2018).

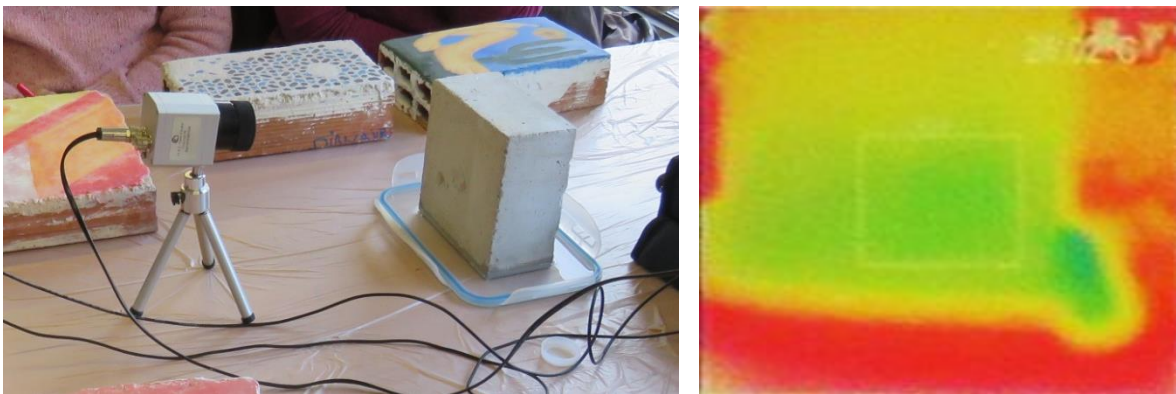


Figura 40. Cámara termográfica. Demostración realizada en las XIII Jornadas de Conservación y Restauración – Materiales y técnicas innovadores para la conservación y restauración del hormigón: Innova Concrete. 2019.

Figura 41. Dispositivo de análisis por ultrasonidos. Demostración realizada en el 4º Seminario teórico-práctico del Proyecto Nano-Cathedral. 2018



Para facilitar la realización de una metodología de intervención, en primer lugar, se ha optado por dividir los daños que se pueden apreciar visualmente en tres niveles de menor a mayor. En el **nivel I** los procesos electroquímicos de oxidación ya han comenzado, pero solo se pueden detectar a través de la medición del potencial de corrosión, o por la aparición de patinas de tinción derivadas de la oxidación del acero (figura 42).

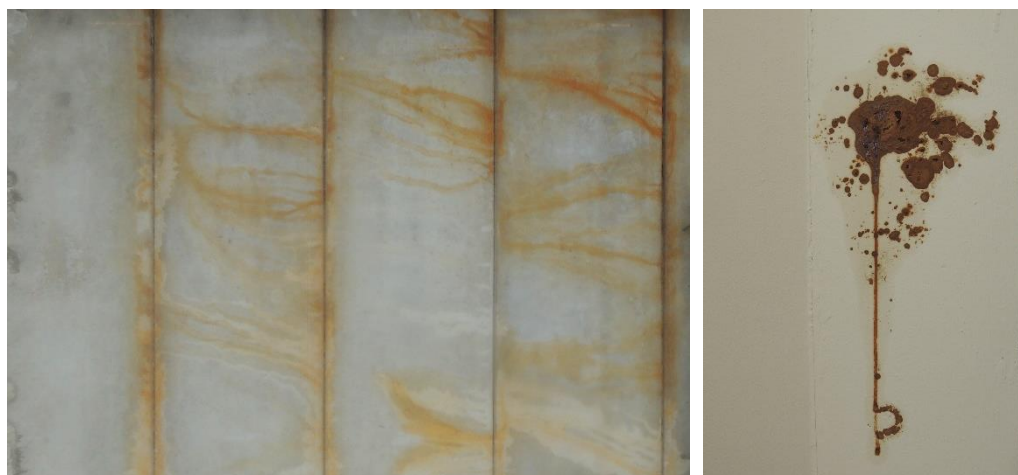


Figura 42. Manchas de tinción por oxidación en la superficie del hormigón. 2018.

En el **nivel II** aparecen grietas por expansión de las armaduras, normalmente recorren la superficie de forma paralela a la armadura y, en sección, presentan una distribución radial. La armadura se aprecia, a simple vista, en algunos puntos (figura 43).



Figura 43. Daños por corrosión de la armadura nivel II. Fachada del palacio Munoa (Barakaldo). 2018.

Cuando las piezas se encuentran en un **nivel III**, aparecen fracturas generalizadas por toda la zona, desprendimientos de gran parte del volumen de la obra y, además, suele sufrir problemas de integridad a nivel estructural (figura 44).



Figura 44. Daños de nivel III. Balastrada junto a la escuela de aprendices (Sestao). 2019.

6.3. Propuesta de intervención

En la presente memoria se proponen diferentes actuaciones según el nivel de deterioro observado. Teniendo esto en cuenta, tras describir el estudio de las obras y su estado de conservación, podemos adaptar la intervención a cada uno de los niveles de deterioro. Cabe destacar que, en obras de gran tamaño, podemos encontrar zonas que estén en distintos niveles de deterioro.

6.3.1. Nivel I

Las intervenciones propuestas para en nivel I se centran en acciones de conservación, con las que se busca detener o, al menos ralentizar, los procesos de deterioro asociados a la oxidación de las armaduras.

En primer lugar, se procedería a un tratamiento de desalación, para reducir los iones despasivantes. Este puede realizarse con la ayuda de papetas o, si podemos mover los distintos prefabricados, por inmersión en agua. Con este proceso se irá reduciendo la concentración salina (Ferrer, 1995; Mas, 2010).

Después de eliminados los iones, lo más conveniente es proceder al tratamiento de realcalinización, el cual se suele realizar con carbonato de sodio (Na_2CO_3) y una corriente que genere una diferencia de potencial entorno a los 12 V (Odgers, 2018).

Como parte final de cualquier intervención en las armaduras, se puede plantear algún tratamiento superficial que reduzca la entrada de agua y agentes de deterioro.

A nivel industrial, se comercializan recubrimientos anticarbonatación para morteros y hormigones pero, para la Restauración de Bienes Culturales, son de poca utilidad, ya que deberían haberse aplicado antes de que comenzaran los procesos de carbonatación (Odgers, 2018).

6.3.2. Nivel II

La intervención necesaria para tratar un nivel II, en la corrosión de las armaduras, va a requerir los mismos pasos que un nivel I, pero antes de la protección superficial, será necesario sellar las grietas aparecidas. De tal manera que estas no faciliten la entrada de agua y contaminantes, ni favorezcan la colonización biológica del nuevo espacio creado (Mas, 2006; Mas, 2010).

En este caso puede ser interesante valorar la opción de la protección catódica, en lugar del tratamiento de realcalinización. Consiste en la aplicación permanente, a la pieza, de una corriente continua con el cátodo conectado a la armadura y un ánodo embebido en el hormigón. Este es el método de pasivación más eficaz, pero tiene el inconveniente de que es necesario generar un espacio en la pieza para el ánodo, y presenta un elevado coste de mantenimiento (Cobo, 2001; Odgers, 2018).

6.3.3. Nivel III

La intervención propuesta para el nivel III, debe ser valorada con detenimiento, ya que es un tratamiento muy traumático para la obra y solo debe ser usado en una situación extrema.

En primer lugar, se estudiará meticulosamente la disposición de las armaduras y el recorrido que hacen las fracturas que han generado. En las zonas que queden a la vista se eliminará, completamente, la armadura metálica. En las partes más fracturadas se valorará la posibilidad de

desprender los fragmentos de mortero de la pieza por sus líneas de rotura y así eliminar la armadura dañada. En este punto, los distintos fragmentos, se someterán a la desalación y, si queda algún elemento metálico embebido, a la realcalinización.

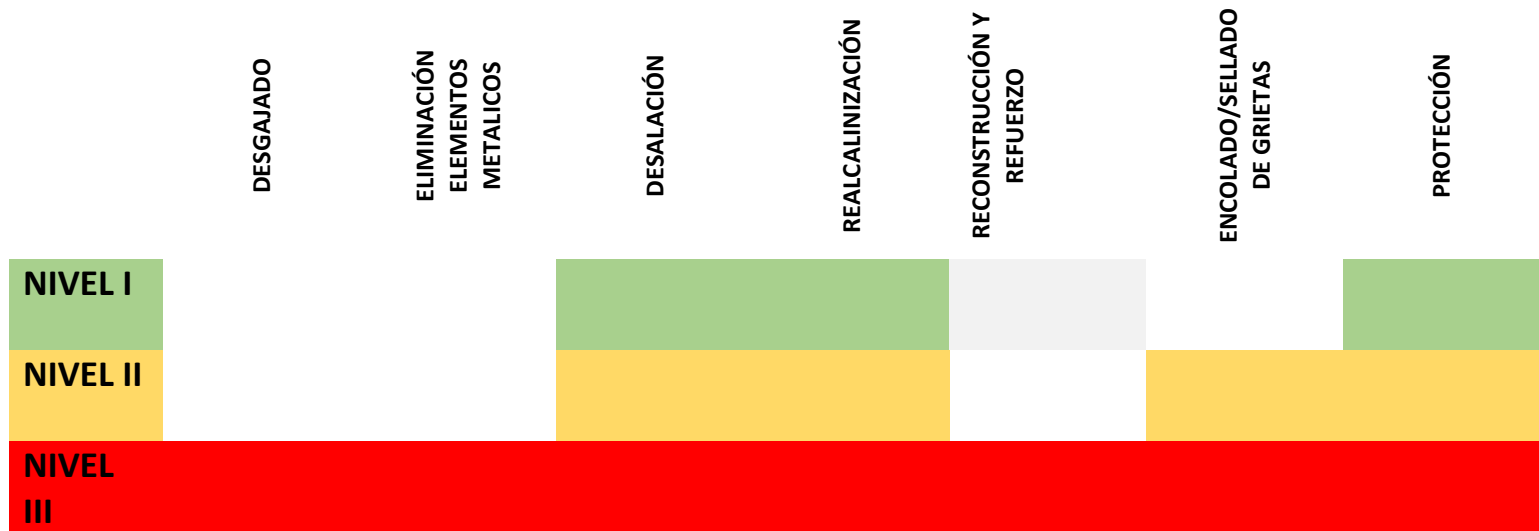
El espacio ocupado por las armaduras se rellenará con una estructura de varillas de fibra de vidrio, sobre la que se encolaran los distintos fragmentos y se sellaran las juntas. Si se considera necesario, se puede aplicar una capa de protección final para la reducción de la entrada de agua.

Este tratamiento es muy agresivo y solo ha de utilizarse cuando peligre la supervivencia de la obra. Como aspecto positivo, permite recuperar la geometría original (ya que conforme se expande la armadura, aparecen grietas que cambian las medidas exteriores de la pieza), además de permitir una gran estabilidad a largo plazo.

6.4. Conclusiones sobre los problemas ocasionados por la expansión de las armaduras

Para la intervención sobre los procesos de degradación relacionados con las armaduras es necesario el estudio, en profundidad, de las obras, la naturaleza y disposición de las armaduras, así como los procesos que se están dando en el momento de la intervención. Se han propuesto estos tres niveles, fácilmente diferenciables a simple vista, como orientación a la hora de plantear la restauración pero, en muchas ocasiones, cada obra requiere de pequeñas adaptaciones de la metodología. Además, en un conjunto arquitectónico, podemos encontrar los mismos prefabricados en distintos niveles del proceso de degradación.

De manera general, en la figura 45 se ha recogido el orden de las intervenciones y para que niveles de deterioro son aconsejables:



45. Esquema general de las fases de intervención en cada nivel. 2021.



***7. LAS BALAUSTRADAS EN LAS
GALERÍAS PUNTA BEGOÑA:
METODOLOGÍA PARA LA
REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA***

7. LAS BALAUSTRADAS EN LAS GALERÍAS PUNTA BEGOÑA: METODOLOGÍA PARA LA REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA

En este capítulo se proponen distintas metodologías de reproducción que buscan adaptarse a las necesidades específicas de los elementos prefabricados de mortero y hormigón que pueden aparecer en el Patrimonio Construido. A partir de la experiencia obtenida en las intervenciones llevadas a cabo en las galerías Punta Begoña, se proponen metodologías aplicables en otros casos de los Bienes Inmuebles a conservar con este tipo de elementos.

Los elementos arquitectónicos con valor patrimonial se deben tratar bajo los mismos criterios que el resto de las obras de arte. Han de primar la legibilidad, discernibilidad y reversibilidad pero, las características especiales del Patrimonio Construido y en especial de los elementos seriados requieren adaptaciones en la forma habitual de trabajo de los conservadores restauradores.

El mismo Cesare Brandi (1977) defiende la anastilosis de determinados elementos cuando la falta de estos modifica la interpretación que hace el espectador del espacio en el que se encuentra. También afirma que esta reconstrucción nunca ha de pretender tener el aspecto de la original ya que esta se ha perdido. Tal afirmación es completamente válida para todo aquel elemento realizado de forma manual, pero cambia al tratarse de elementos seriados. Siempre que se mantenga una discernibilidad, teniendo la suficiente información, se puede recuperar la forma original de estos bienes ya que, conceptualmente, son elementos seriados sin carácter individual. Esto permitiría la reconstrucción de una serie, siempre que se conozca con exactitud la disposición de los distintos elementos y la geometría de cada uno de ellos. Además, la reposición de elementos faltantes se justifica cuando la ausencia de estos compromete seriamente la estructura formal, la estética y la funcionalidad de la obra (UNE-EN 41810).

Por otro lado, la reconstrucción de elementos completos, si se hace de manera adecuada, es totalmente reversible, lo que permite revertir estas intervenciones, si en un futuro fuera necesario, o se encontrara una opción de intervención más adecuada.

7.1. Las Galerías Punta Begoña: ubicación e historia

Las Galerías Punta Begoña son un interesante complejo arquitectónico situado en el municipio de Getxo junto a la playa de Ereaga. Este conjunto tiene gran importancia debido a las innovaciones técnicas utilizadas en su construcción, su calidad artística, la historia de sus promotores, o la gran cantidad de sucesos ocurridos en su interior (Lama,2017; Lama,2020).

Punta Begoña es una edificación, al borde del mar, compuesta por dos grandes galerías, en forma de ángulo, aproximadamente de 90°, con un jardín en la parte superior. La primera galería mira a mar abierto con una dirección noroeste (NW), en forma de S y una longitud de unos 100 metros, al final de esta encontramos una gran estancia y un par de espacios que sirven de servicio a la misma. La otra galería da a la zona de El Abra, con una orientación suroeste (SW). Está formada por un tramo curvo y dos tramos rectos que suman unos 90 metros (figura 46).



Figura 46. Vista general de las galerías Punta Begoña.

Surge en 1918 de la necesidad de reforzar el acantilado sobre el que se encontraba un palacete diseñado por Gregorio Ibarretxe, construido en 1910, por encargo de Horacio Echevarrieta. Para llevar a término este

proyecto acudió al arquitecto Ricardo Bastida. Juntos decidieron no solo crear un muro de contención para el acantilado, sino también un belvedere, es decir, una zona para la contemplación de las vistas al mar. Además, buscaban crear un icono en el paisaje, muestra de la importancia social y estatus económico de la familia Echevarrieta. El conjunto se construyó entre 1918-1922, constituyendo el primer edificio residencial de Vizcaya en utilizar el hormigón armado como elemento estructural (Bermejo et al, 2018; Arroitia et al, 2020).

Esta época de disfrute terminó pronto ya que, con el comienzo de la Guerra Civil, la propiedad al completo fue convertida en un hospital de convalecencia dentro del sistema de hospitales de guerra diseñado por José María Bengoa. Éste escogió la ubicación por estar alejada del frente y tener mucha ventilación (Gondra, 2018).

Tras la caída de Bilbao en junio de 1937, el complejo arquitectónico se convirtió en cuartel del mando italiano para pasar, con el tiempo, a ser sede del Auxilio Social, controlado por la Sección Femenina de la Falange. De este periodo data el conjunto pictórico que, hoy en día, podemos contemplar en el salón (Lama, 2020).

Finalmente, la propiedad fue devuelta a la familia Echevarrieta. Tras la muerte del patriarca en 1963, esta se vendió y, en 1976, los edificios superiores fueron demolidos. Como resultado de varias negociaciones con el Ayuntamiento de Getxo, entre 1988-1992, se construyó la urbanización que existe actualmente (Bermejo, 2019).

Tras un siglo de exposición a todo tipo de agentes de deterioro: agua, contaminantes atmosféricos, los aerosoles marinos y varios cambios de uso, en 2013, comenzó su puesta en valor por parte del Ayuntamiento de Getxo y la UPV/EHU. Varios grupos de investigadores de la universidad (HGI, GPAC, IBEA, Catedra UNESCO y Grupo Bellas Artes) trabajan de manera transdisciplinar, actualmente, en su recuperación (figura 47).

Este conjunto arquitectónico está íntimamente relacionado con el objeto de estudio de esta tesis, no solo por ser el primer edificio residencial de Vizcaya construido en hormigón armado, sino por contar con gran cantidad de elementos prefabricados para su decoración.

CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA SUPERIOR (ARQ. GREGORIO IBARRECHE) 1910



CUARTEL DEL MANDO ITALIANO



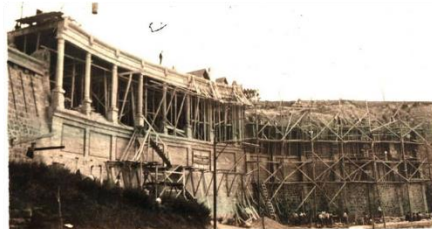
DERRIBO DE LA VIVIENDA SUPERIOR

**DONACION DE LA PROPIEDAD AL AYUNTAMIENTO
1º PROYECTO DE CREACION DE UN HOTEL**

2000



CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERIAS (ARQ. RICARDO BASTIDA)



**HOSPITAL DE CONVALESCENCIA
SEDE DEL AUXILIO SOCIAL**



MUERTE DE H. ECHEVARRIETA



CONSTRUCCIÓN DE LA URBANIZACIÓN



**2º PROYECTO DE
CREACIÓN DE UN HOTEL**

**COMIENZO DE LA
PUESTA EN VALOR**

Figura 47. Línea del tiempo en la que se representan los hitos más importantes. Imágenes proporcionadas por GPAC, grupo BBAA, Ayuntamiento de Getxo, Biblioteca de Getxo y Autoridad portuaria de Bilbao.

7.2. Las balaustradas en las Galerías Punta Begoña

El uso principal de los prefabricados en Punta Begoña ha sido para construir las balaustradas que sirven de cierre de las distintas zonas y sus accesos. Actualmente se conocen cuatro modelos de balaustradas con sus correspondientes balaustres, barandales superiores e inferiores.

El modelo A (figura 48 y 49) se corresponde con la balaustrada que recorre la fachada a lo largo de todo el conjunto, está compuesto por un barandal inferior, fabricado en hueco y relleno en obra, un balaustre inscrito en un prisma de base rectangular y dos modelos de barandal superior, uno recto y otro curvo. Dicho modelo solo presenta decoración por la cara externa que da a la fachada.

El modelo B (figura 50 y 51) sirve de cerramiento a la escalera que sube de la terraza superior de la galería SW al jardín situado por encima de la galería NW. Es similar en disposición y estética al modelo A, pero a una escala más reducida, además algunos de los balaustres contaban con una base en ángulo para adaptarse a los tramos ascendentes.

El modelo C (figura 52 y 53) se halla en las escaleras de acceso a la galería SW, tiene un barandal inferior macizo y decorado por ambas caras, un balaustre formado por un objeto de rotación, con una base en ángulo, y un barandal superior, igualmente decorado por ambas caras.

El modelo D (figura 54) corresponde a los restos encontrados en los cimientos del salón. De este modelo se han hallado tres fragmentos de balaustre y un trozo del barandal inferior. No obstante, cabe destacar que dicho modelo conserva restos de un recubrimiento blanquecino, aparentemente podría tratarse de una lechada de cal. En este caso no conocemos la ubicación original de estas piezas, ni porque llegaron hasta el bajo salón, pero su técnica de fabricación es más tosca, y cuentan con una armadura colocada de forma excéntrica.

Todos los elementos de las balaustradas de las galerías Punta Begoña están compuestos por morteros. No hay información documental de los materiales utilizados para su fabricación en origen, pero visualmente parece cemento portland, al menos en parte, y arena de playa. No obstante, en los análisis por difracción de rayos X (DRX) (tabla 6) se han detectado diferentes especies minerales que confirman estas observaciones. La

presencia de aragonito (CaCO_3) característico de arena de playa, y la larnita (Ca_2SiO_4) y ettringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$) indican la utilización de cemento Portland.

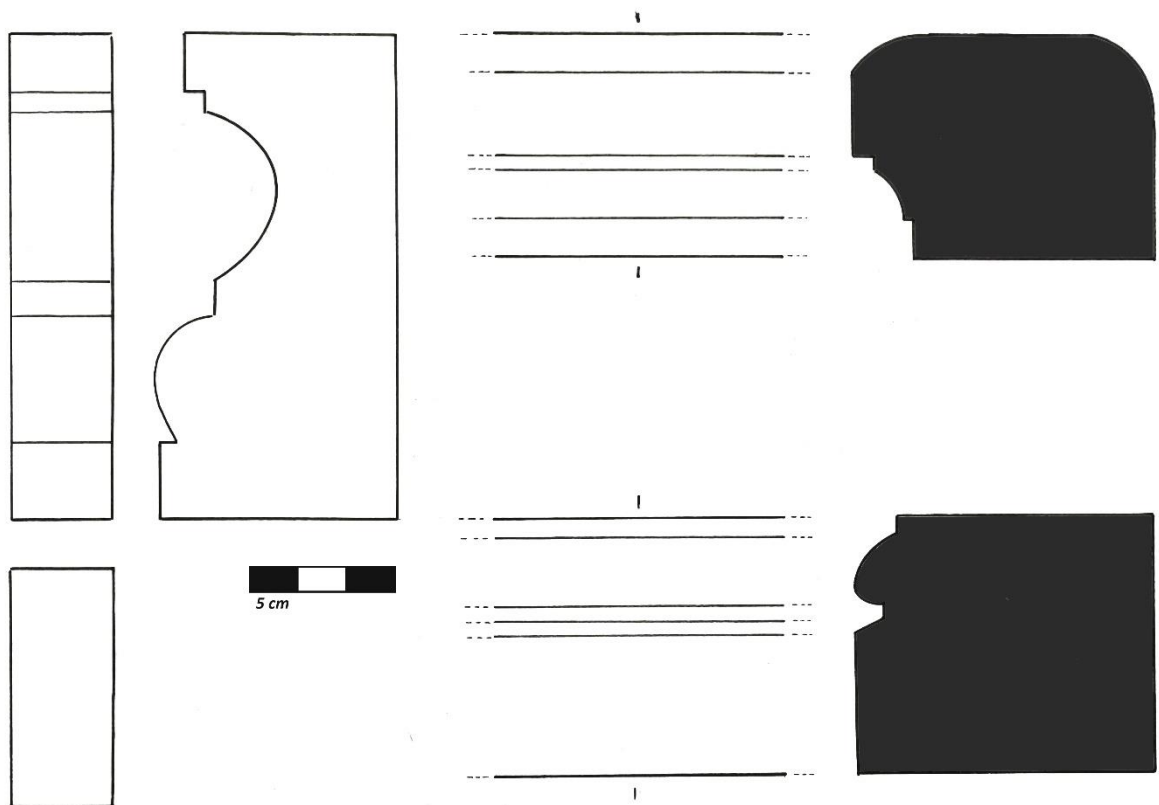
Tabla 6. Minerales detectados en los balaustres de los diferentes modelos				
Especies detectadas	MODELO A	MODELO B	MODELO C	MODELO D
Cuarzo SiO_2 romboédrico	X	X	X	X
Calcita CaCO_3 romboédrico	X	X	X	X
Calcita magnesiana $\text{MgO},1\text{CaO},9\text{CO}_3$	X	X	X	X
Aragonito CaCO_3 ortorrómbico	X	X	X	X
Goethita $\text{FeO}(\text{OH})$ ortorrómbico	X		X	X
Larnita Ca_2SiO_4 Monoclínico			X	
Ettringita Ca_6Al_2 $(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$ hexagonal			X	
Hidrotalcita $\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ romboédrico			X	

Con respecto a las armaduras, encontramos diferentes opciones. El modelo A, cuenta con armaduras solo en el barandal superior, los modelos B, C y D llevan una armadura en los balaustres pero, no así en los barandales. En ningún caso los refuerzos metálicos se conectaban entre sí, ni con los elementos estructurales del edificio, lo que reduce mucho la capacidad de absorción de los movimientos de las balaustradas, pero las ventajas de unir las armaduras de los distintos elementos no se conocían en el momento de edificación de las galerías (Calvo 2016). La unión entre las piezas se ha realizado de diferentes maneras, dependiendo de las necesidades,

mediante el uso de anclajes metálicos o rellenos de mortero. Por último, los modelos A y B se revistieron por completo con un mortero de enlucido.

Se desconoce el fabricante de las balaustradas, pero tal vez fuera la Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao, la cual en 1905 comenzó a fabricar este tipo de elementos ornamentales, como las balaustradas del Establecimiento de baños del Sardinero en Santander o los remates de las chimeneas del Santo Hospital Civil de Bilbao (Basurto). Esta teoría es apoyada por la conocida colaboración de esta empresa con Ricardo Bastida, autor de las galerías, en otros proyectos como la Alhóndiga, el lavadero modelo de Alameda San Mames o los elementos decorativos de las Nuevas Escuelas Municipales de Bilbao (Burgos,2004).

Otra opción sería la Constructora Bilbaína, la cual se encargó de la fabricación de las baldosas prefabricadas de la parte superior de la galería SW, dicha opción se vería apoyada, por la fecha de construcción de las galerías (1918-1922) en las cuales la Compañía Anónima del Hormigón de Sestao comenzaba a centrarse más en la fabricación de cemento que en las obras de construcción (Burgos,2004).



BALAUSTRADA MODELO A - BALAUSTRÉ, BARANDAL SUPERIOR E INFERIOR
PUNTA BEGOÑA

Figura 48. Vista general y esquema del diseño del modelo A. 2019

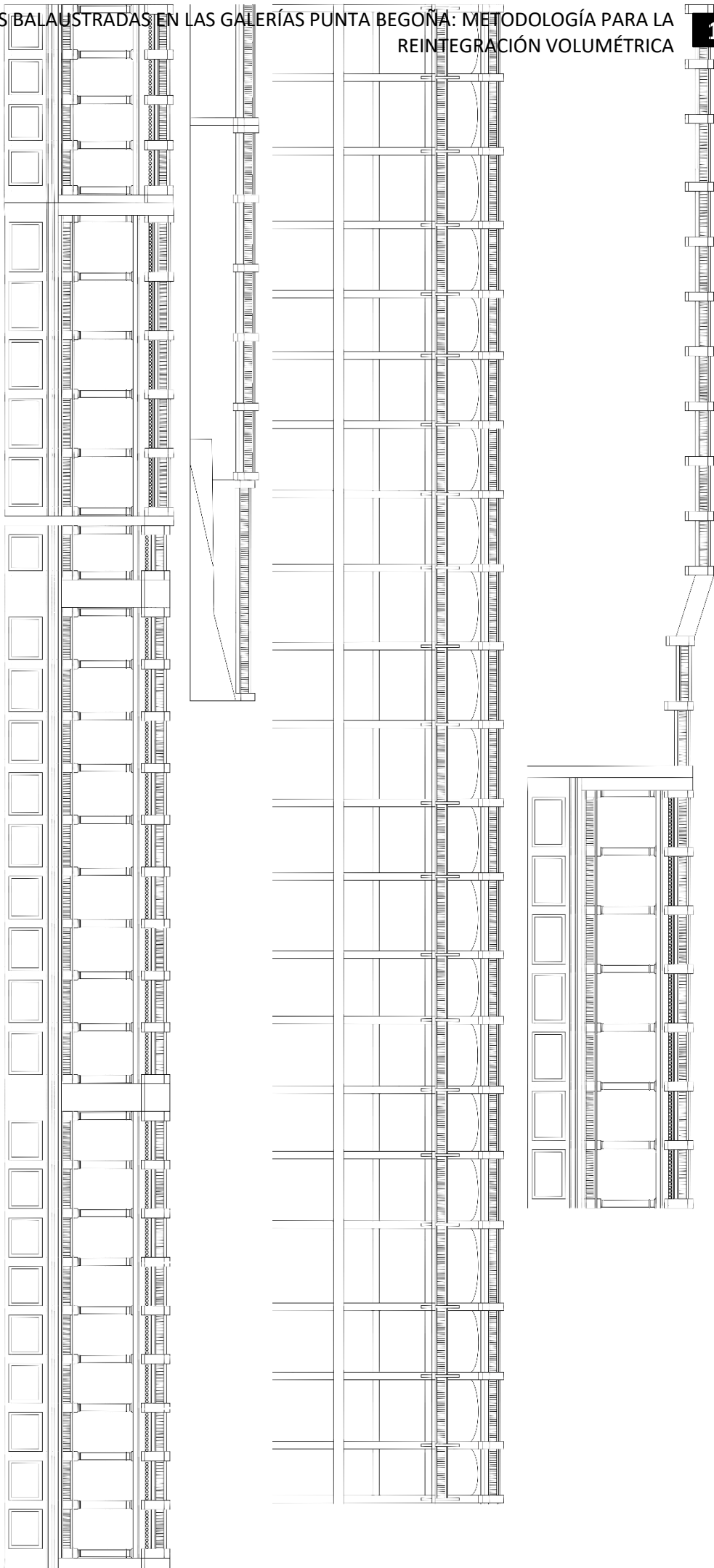
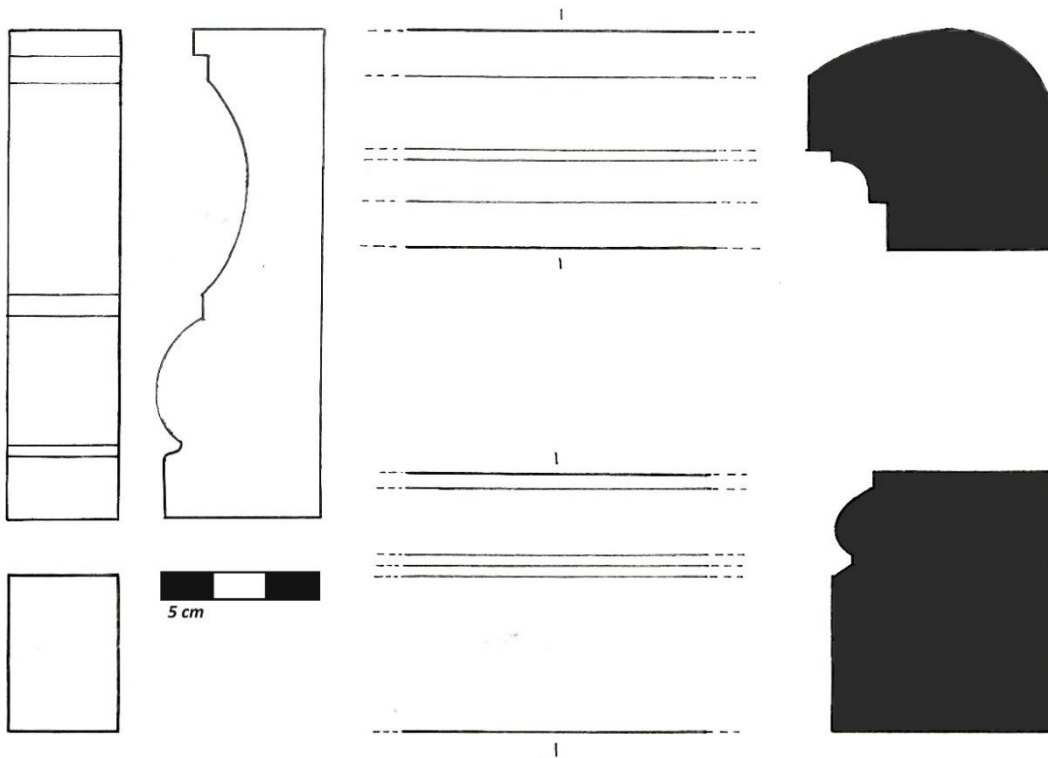
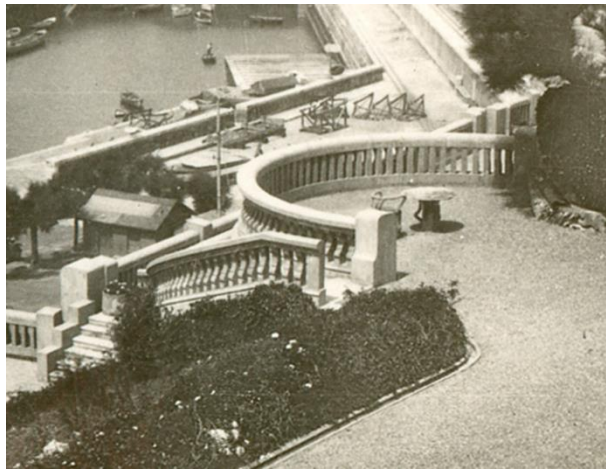


Figura 49. Esquema general del modelo A en la fachada.



MODELO B - BALAUSTRE, BARANDAL SUPERIOR E INFERIOR
PUNTA BEGOÑA

Figura 50. Modelo B entre 1923-1976 (proporcionada por GPAC y la Biblioteca de Getxo). Esquema del diseño del modelo B. 2019.

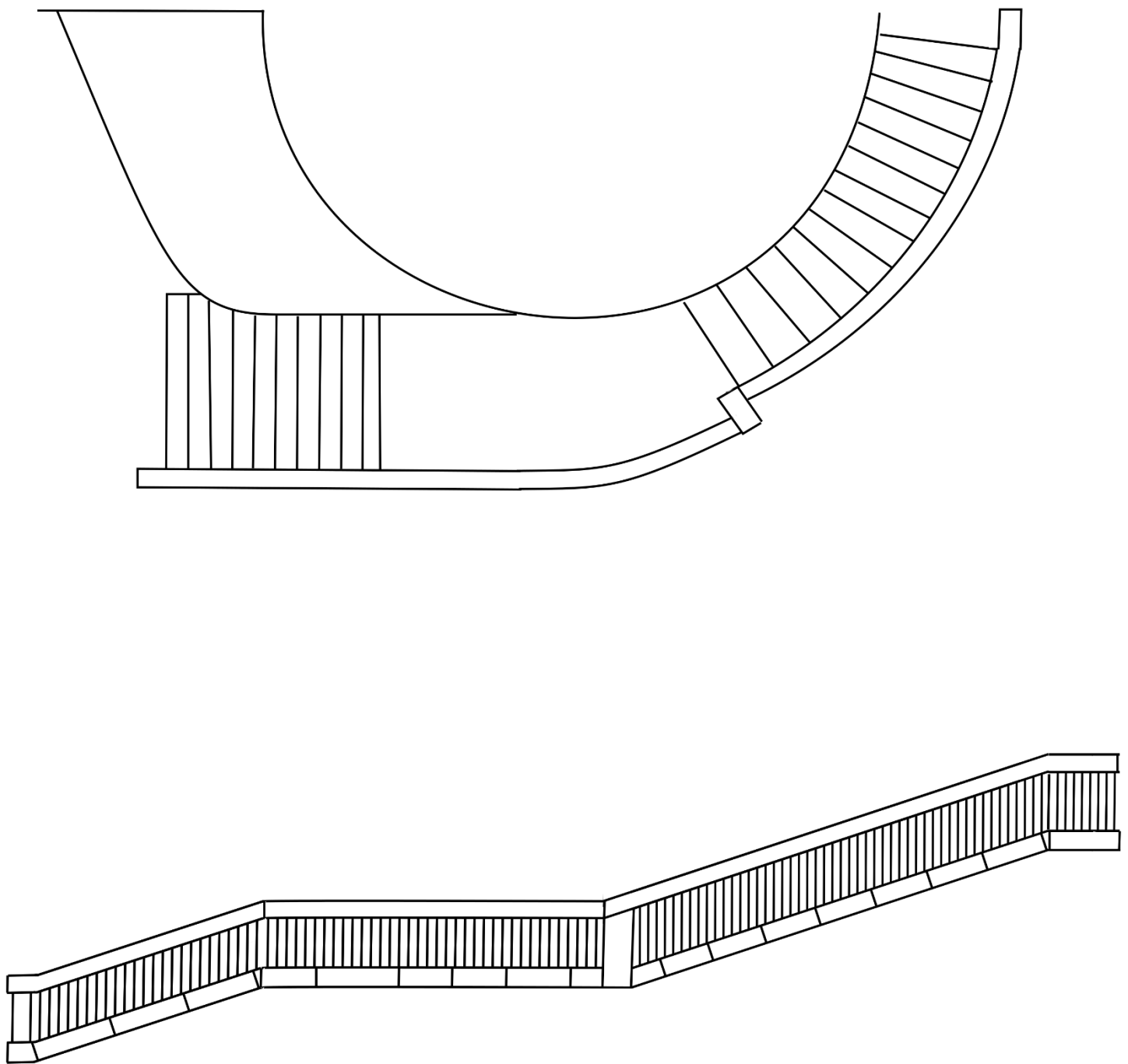
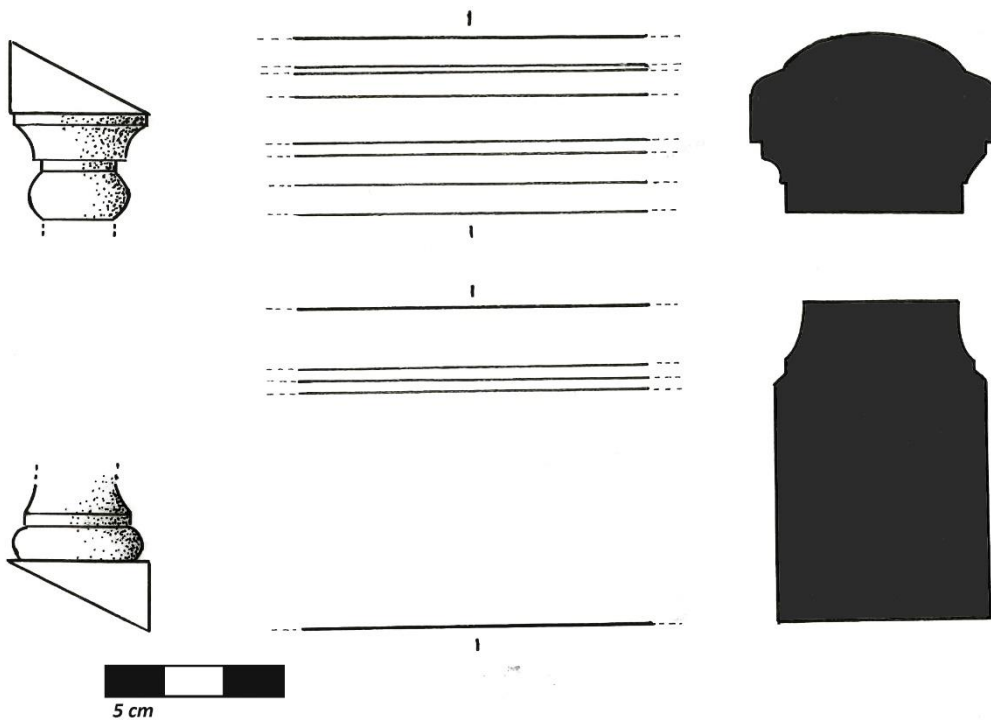


Figura 51. Esquema general de la disposición del modelo B. 2021.



Figura 52. Hijos de Ricardo Bastida en la Galería SW, modelo C al fondo. Primavera de 1921-1922. Proporcionado por la familia Bastida y GPAC (izq.) Esquema del diseño del modelo C. 2019. (abajo)



BALAUSTRADA MODELO C - BALAUSTRE, BARANDAL SUPERIOR E INFERIOR PUNTA BEGOÑA

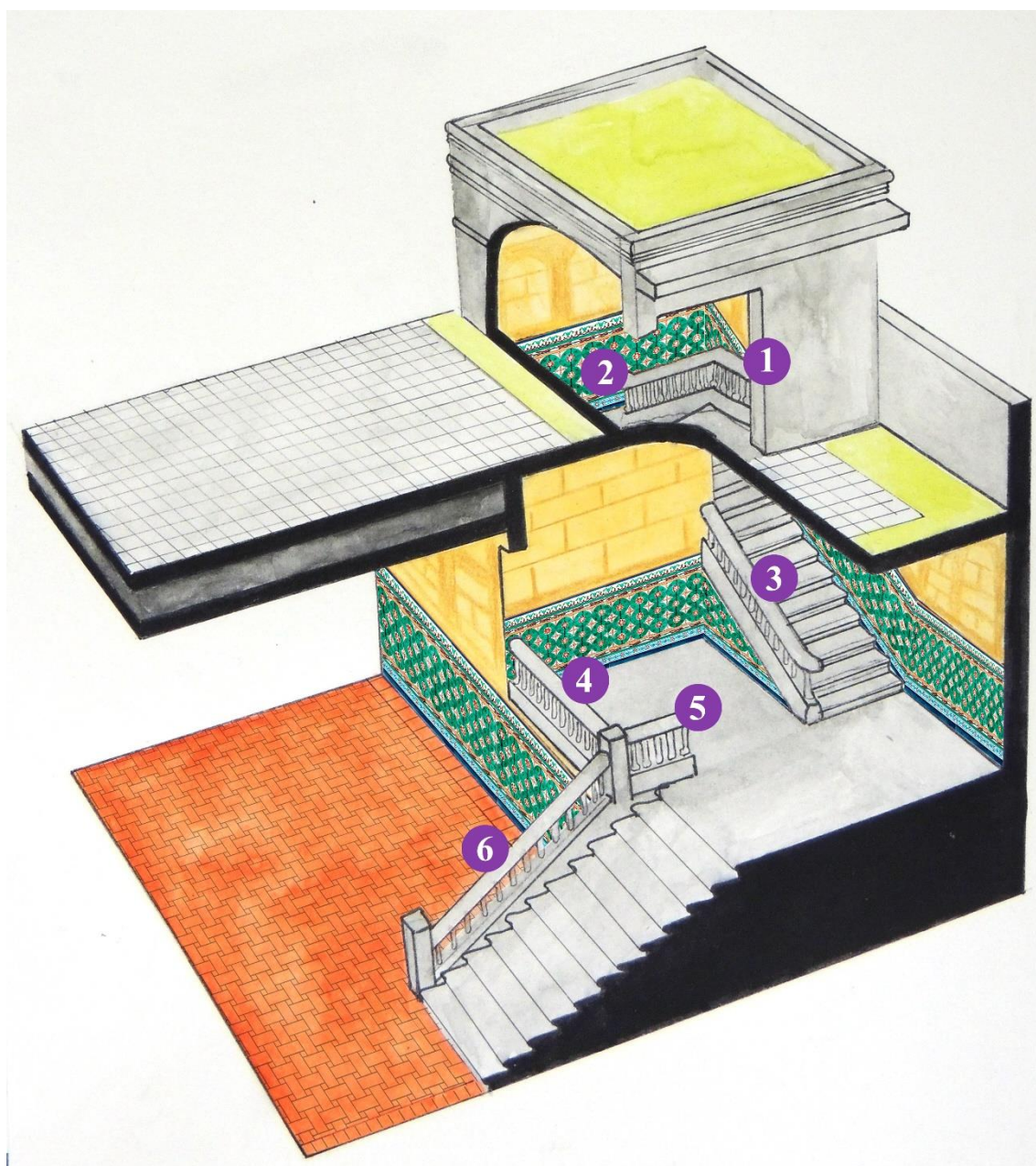
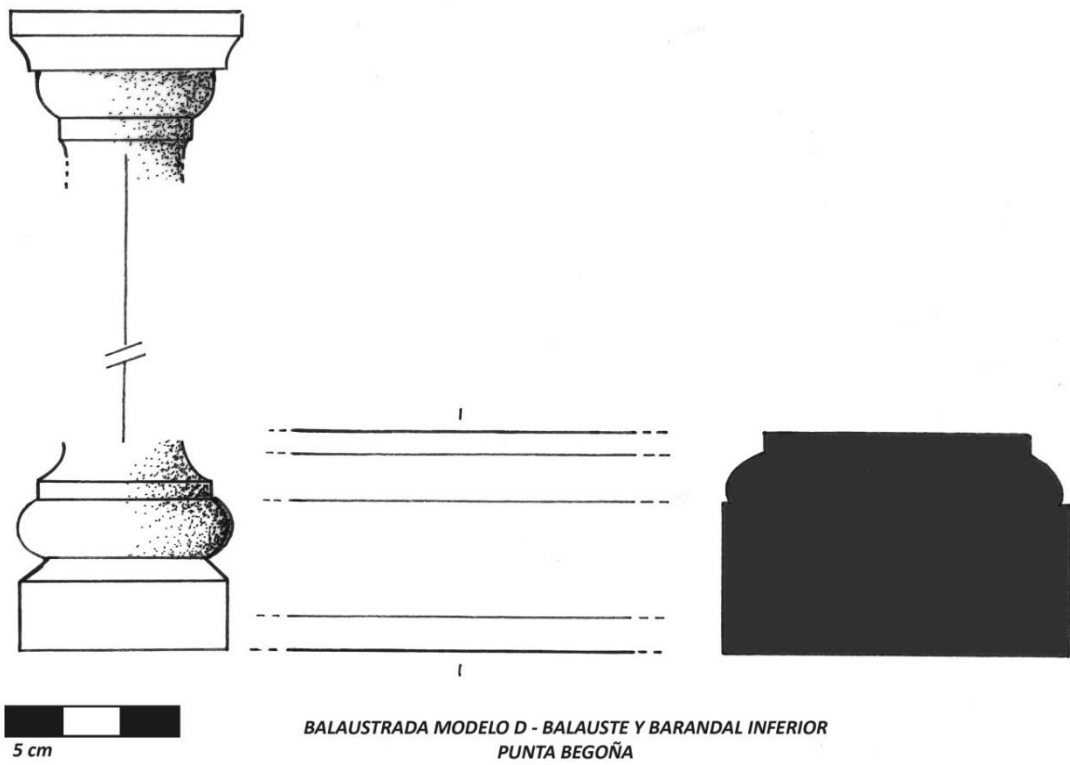


Figura 53. Esquema general de la disposición del modelo C. 2020.



BALAUSTRADA MODELO D - BALAUSTE Y BARANDAL INFERIOR
PUNTA BEGOÑA

Figura 54. Restos del modelo D conservados y esquema de su diseño. 2019.

7.3. Estado de conservación de las balaustradas

Los cuatro modelos estudiados en este trabajo presentan diferentes estados de conservación. El modelo A cuenta con algunos daños, pero se conserva en su gran mayoría. El modelo B, se encuentra seriamente afectado, no obstante, se han conservado los restos suficientes para conocer con detalle su disposición. El modelo C está muy deteriorado, desconociéndose actualmente algunos elementos de su diseño. Y, por último, del modelo D solo han sobrevivido unos pocos fragmentos, desconociéndose su forma, disposición y ubicación original. Esto va a afectar también a la manera en la que se plantea su restauración.

La fractura y pérdida de elementos ha sido, sin duda, la degradación más grave que han sufrido las balaustradas de Punta Begoña, habiéndose producido en algunos puntos por motivos intrínsecos, por problemas en el diseño o colocación, y en otros por agentes extrínsecos, principalmente la mano del hombre.

Este texto se ha centrado en la fractura y pérdida de elementos como fase previa para su reintegración volumétrica, aunque desde el Grupo de Bellas Artes se ha registrado la presencia de otras degradaciones con una incidencia más puntual como se aprecia en las figuras 55 y 56.



Figura 55. Fractura con desplazamiento en la base de la balastrada, alveolización, costra negra y alteración cromática.



Figura 56. Actos vandálicos, musgos y plantas superiores y costra cálcica sobre el barandal (2017).

El gran número de elementos del **modelo A**, ha requerido desarrollar una nomenclatura específica para seleccionar con exactitud cada pieza (figura 57). En primer lugar se dividió el edificio en crujías, comenzando por la zona aledaña al salón (crujía 1) hasta el acceso a la galería SW (crujía 56); después se le asignó un valor a cada altura dentro de la fachada definiendo 3 niveles, el nivel inferior (nivel 1) correspondiente al salón y al interior de la galería SW, el nivel medio (nivel 2), que se encuentra a la altura del interior de la galería NW y la parte superior de la galería SW y, por último, el nivel superior (nivel 3) que coincide con la parte superior del salón y de la galería NW. Finalmente, en cada crujía se le asignó un número a cada balaustre, comenzando por el límite de la crujía anterior.

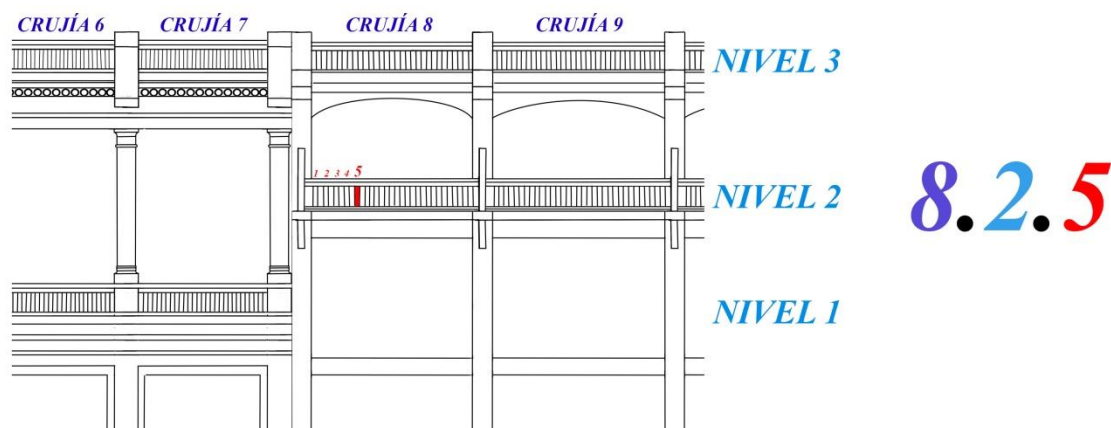


Figura 57. Sistema para la nomenclatura de un balaustre.

Como se ha dicho anteriormente, pese a ser el modelo mejor conservado, aparecen pérdidas tanto en los balaustres, como en el barandal superior e inferior.

En la mayor parte de los casos podemos calcular el número de balaustres faltantes por la impronta que han dejado en el barandal inferior (tabla 7). Del barandal superior solo se han perdido los tramos 29*,30*,31* y 34*; mientras que el inferior específicamente en el tramo 29*.

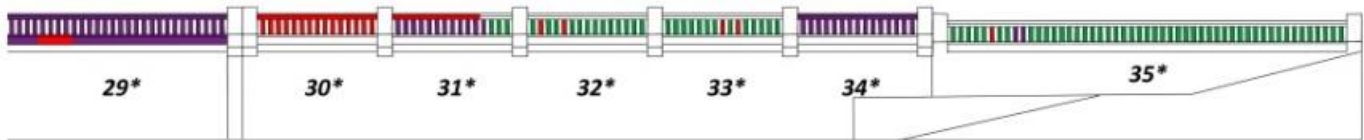
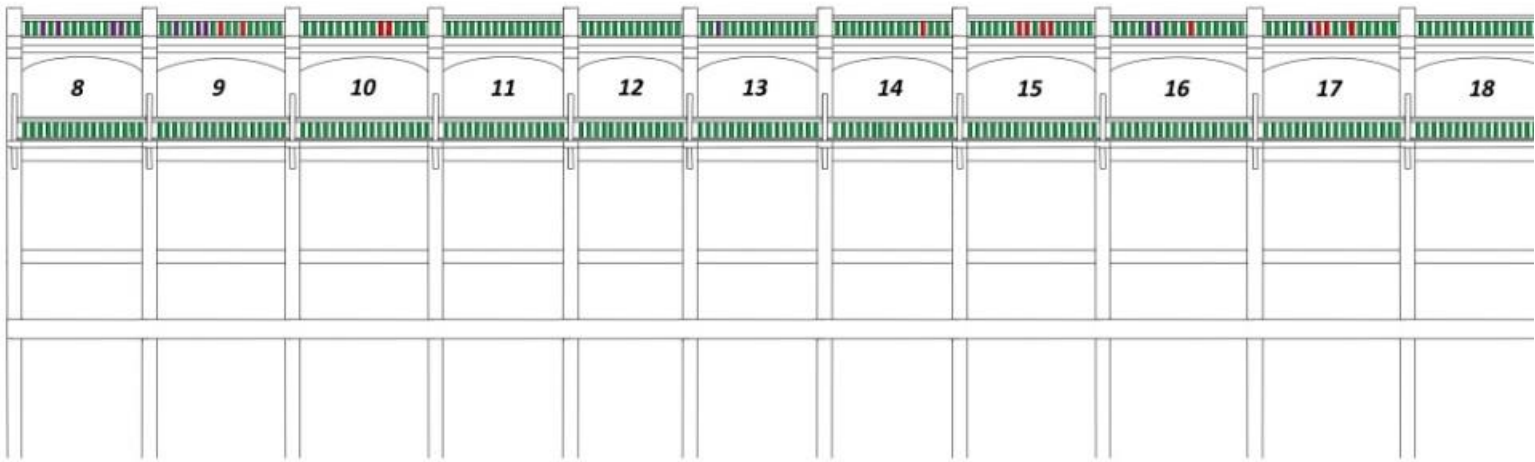
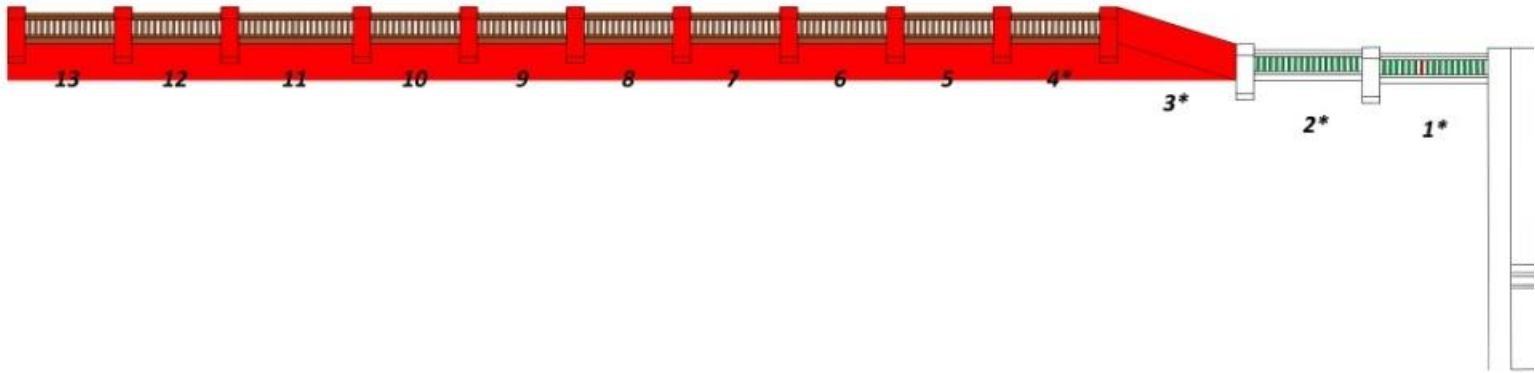
Tabla 7. Inventario de balaustres en su posición original					
Zona	Crujías	Nivel	Balaustres Totales	Faltantes	% de piezas conservadas
Salón	1-8	1	84	0	100%
G. Noroeste	8-28	2	342	0	100%
G. Suroeste	29-56	1	328	7	97%
Jardín y terrazas*	1* y 2*	3	1045	156	87%
	1-28	3			
	29-56	2			
	29*- 35*	3			
**Castellet			150	150	0%
Total:			1831	313	83%
<p>*Para este del tramo 29* al no conocerse el número exacto de piezas se ha estimado a partir del 35*</p> <p>**Cálculo aproximado a partir de las imágenes conservadas</p>					

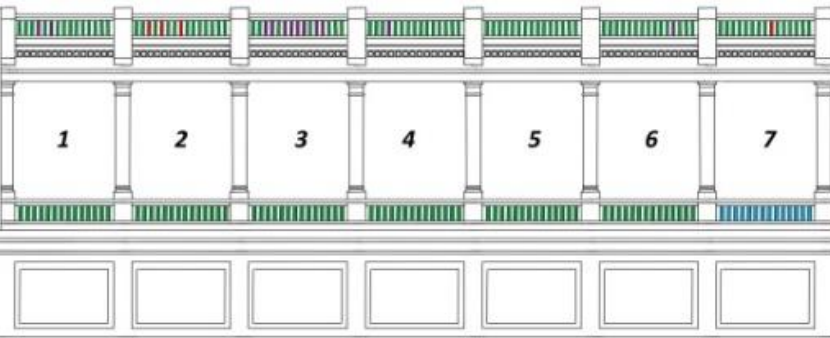
Se han encontrado gran cantidad de piezas completas y fragmentos fuera de lugar dentro del conjunto arquitectónico. Su número y su posición son un factor a tener en cuenta, a la hora de afrontar la restauración de este modelo (tabla 8).

Tabla 8. Balaustres del modelo A y sus fragmentos encontrados fuera de su posición original.	
Balaustres completos	50
Fragmentos de gran tamaño ($\geq 1/3$ de la pieza)	118
Fragmentos pequeños ($< 1/3$ de la pieza)	22

En la figura 58 se representa la posición de las piezas faltantes. La documentación gráfica ha permitido conocer que elementos ya se habían perdido en 1987 (PUBE S.A., 1987). También se ha podido obtener información del castellete, estructura junto al templete de acceso al salón a manera de pódium para contemplar las vistas. Esta estructura fue demolida en 1990 durante la construcción de la urbanización de la zona superior (figura 59 y 60). Aunque se conoce la existencia de fases constructivas anteriores, para este trabajo solo se ha tenido en cuenta la información recogida en Getxo, Ayuntamiento (1989) (figura 61 y 62).

Figura 58. Mapeo del estado de conservación del modelo A





- BALAUSTRES CONSERVADOS
- ELEMENTOS FALTANTES EN 1987
- ELEMENTOS DEMOLIDOS EN 1990
- ELEMENTOS PERDIDOS DESPUÉS DE 1987
- ZONAS CUYA DISPOSICIÓN EXACTA SE DESCONOCE
- ELEMENTOS RETIRADOS PARA LA COLOCACION DE NUEVOS ACCESOS

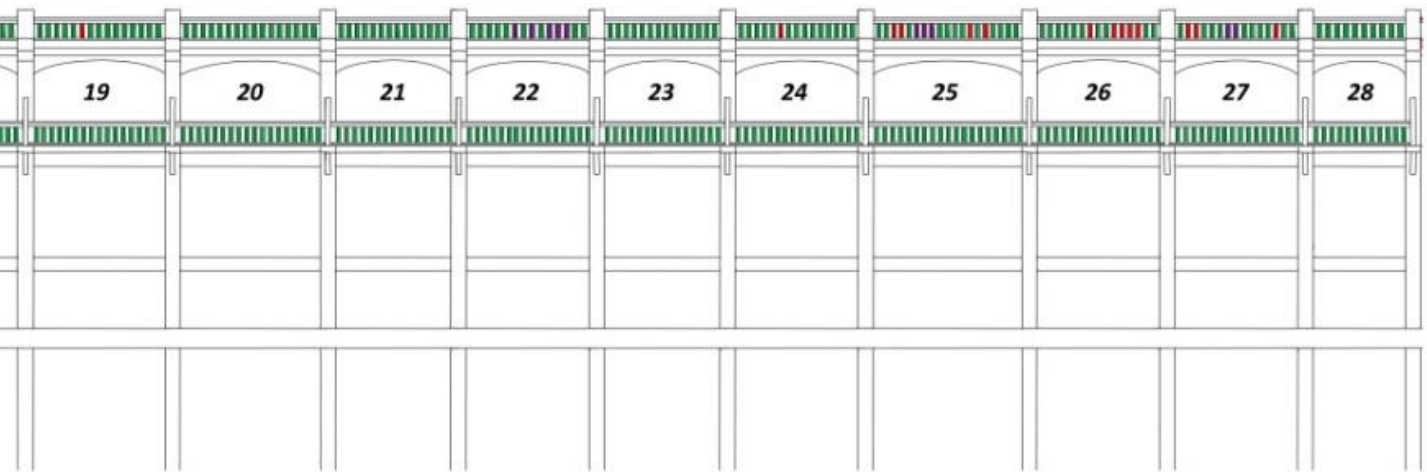


Figura 59. Comparativa de la zona perdida.



Figura 60. Comparativa de ortofotos efectuadas a lo largo del año 1990, en las que podemos ver la demolición de la plataforma durante la construcción de la urbanización. Imágenes realizadas por la DFB (izq.) y por el catastro (dcha.) ambas extraídas de www.geoeuskadi.com (Consultado 15/11/1018)



Figuras 61. Templete de acceso al salón y castillete (izq.) y castillete visto desde la playa (dcha.). 1989. Acta notarial Javier Jimeno Gómez-Lafuente 633. (Getxo, Ayuntamiento, 1989)



Figura 62. Detalle del castillete visto desde la playa de Ereaga. Biblioteca de Getxo.

El modelo B ha sufrido grandes daños por lo que permanecen en su posición original solo los barandales inferiores. Se han encontrado 22 fragmentos del barandal superior (figura 63) correspondiente al 30% del total. De algunos de los cuales se ha podido conocer su posición original por las marcas de unión entre ellos y la impronta dejada por los balaustres. Se ha hallado un único balaustre completo y 7 fragmentos, de los 58 que lo formaban originalmente (figura 64). La información fotográfica y la impronta en el barandal inferior han permitido deducir que contaba con tres postes rectangulares en los puntos de unión entre los distintos tramos (figura 65).



Figura 63. Vista general del estado actual.



Figura 64. Zona adyacente tras el primer procesado. A la derecha los fragmentos hallados del barandal superior del modelo B. Balaustres encontrados en el procesado de las zonas adyacentes. 2018.

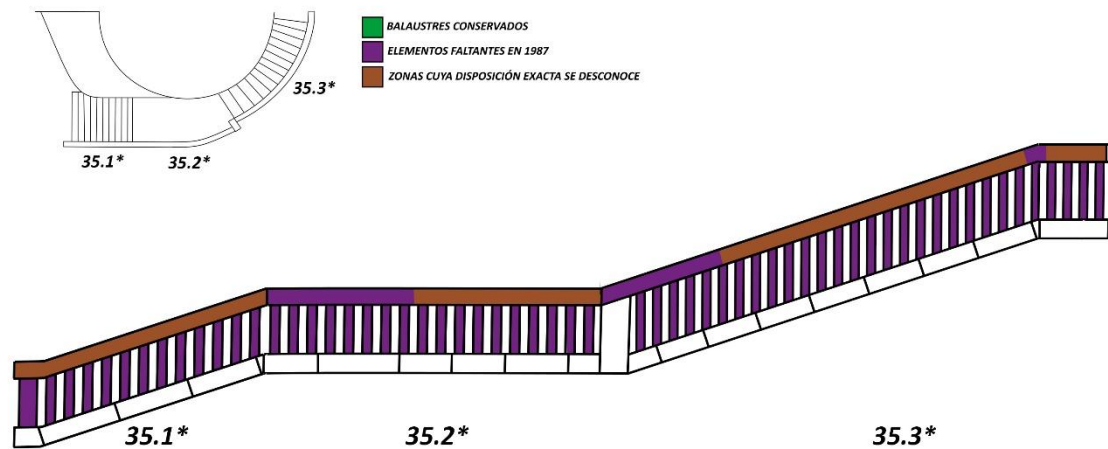


Figura 65. Mapeo de elementos faltantes en la balaustrada modelo B.

El **modelo C** daba acceso a la galería SW. Al comienzo de la puesta en valor de las Galerías de Punta Begoña en 2013, esta parte del conjunto arquitectónico se encontraba parcialmente cubierta por tierra y escombros. En su posición original solo quedaban un módulo del barandal superior y todos los barandales inferiores.

La limpieza de esta zona, realizada en 2018, dejó al descubierto 11 fragmentos de los balaustres (figura 66), 8 fragmentos del barandal superior y los dos bloques prefabricados de hormigón que servían de postes en las esquinas del tramo inferior.

Las piezas conservadas del balaustre corresponden, cuatro a la parte superior y siete a la inferior, habiendo perdido una de estas la base cuadrangular. La armadura metálica se encuentra oxidada, pero no da la sensación de que la destrucción de estos elementos haya sido provocada por la expansión de dicha armadura, al no observarse ningún tipo de fisura radial.

Se encontraron ocho fragmentos del barandal superior con una longitud comprendida entre 40-105 cm. Por las medidas de la zona se estima que, originalmente, las piezas de ese modelo tendrían una extensión total de unos 9.5 m, aunque actualmente, los fragmentos hallados no llegan a los 5 m.



Figura 66. Piezas encontradas en el proceso de desescombro

Como se ha descrito anteriormente, el modelo D, se ha encontrado muy dañado (figura 67), en este caso se proponen únicamente acciones de conservación preventiva. Además de la recogida, catalogación y almacenamiento adecuado de las piezas ya que, por sus grandes daños y la falta de información sobre su forma, disposición y ubicación original, no nos permite realizar una reintegración volumétrica de calidad.



Figura 67. Fragmentos del modelo D tal y como se encontraron

7.4. Propuesta de intervención

Los distintos estados de conservación descritos en el apartado 7.3 han requerido adaptar la metodología a cada uno de ellos. Esto permite la recuperación completa de los elementos del modelo A y B. En el modelo C es necesaria la reintegración de pequeñas zonas que desconocemos, por lo que ha sido especialmente importante el estudio de los criterios de intervención. Por último, el modelo D se encuentra tan dañado que se ha optado por la no reintegración, almacenándose de manera adecuada por su valor documental.

7.4.1. Inventariado y clasificación de los restos

El inventario y clasificación adecuada de los restos (figura 68) ha sido de gran importancia en todos los elementos decorativos de Punta Begoña (Madariaga, 2018; Lama, 2020) no siendo las balaustradas una excepción. La clasificación previa al desescombros de muchas zonas no solo ha permitido recuperar gran número de elementos originales, si no que ha aportado información sobre la disposición original de estos que, de otra manera, se habrían perdido de forma permanente.



Figura 68. Imágenes del proceso de clasificación de los elementos del modelo B con la ayuda de un frotaje .2019-2021.

7.4.2. Encolado de piezas

Tras la clasificación de los elementos se han encontrado gran número de balaustres que, pese a estar completos, se encuentran rotos en varios fragmentos. Esto hizo necesaria su unión previa a la reinstalación dentro de la balaustrada (figura 69).

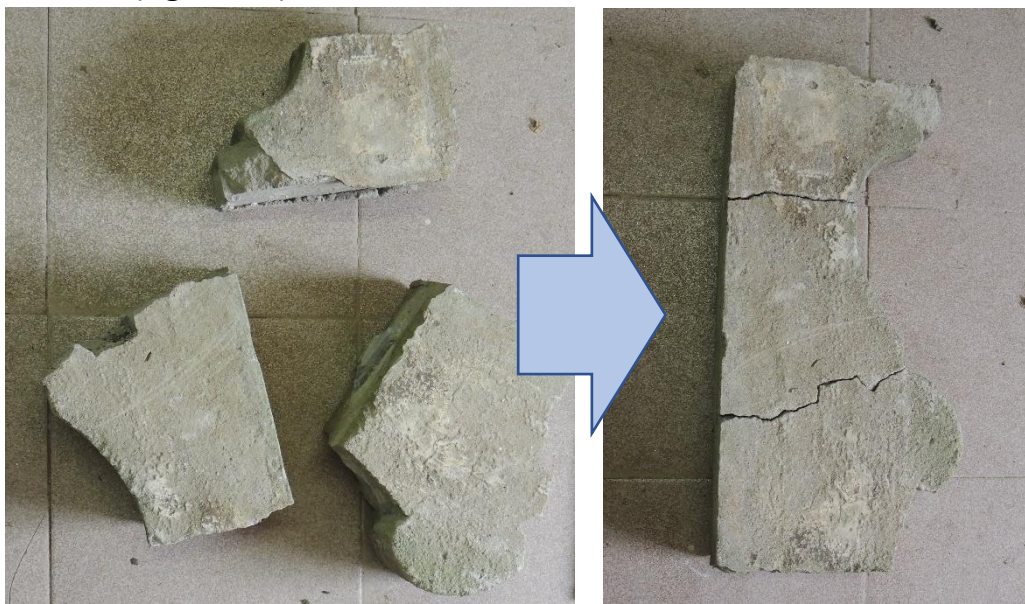


Figura 69. Balaustre fragmentado.

En este trabajo se han testado distintos productos para la unión de fragmentos de morteros u hormigón, seleccionando el más idóneo para el Patrimonio Cultural. Se han seguido diferentes criterios: en primer lugar, la técnica elegida para el encolado debe mantener las piezas unidas de forma adecuada, ser compatible con los materiales originales y estable en un entorno tan agresivo como el de las galerías Punta Begoña.

Además de una correcta adhesión es importante el sellado de la junta al exterior, lo que evita la acumulación de partículas contaminantes, la fijación de agentes biológicos, así como la penetración en el interior de la pieza agua y disoluciones agresivas (Mas, 2006).

En algunos casos puede ser necesaria la inserción de unos pernos de refuerzo que mejoren la estabilidad de la unión. Aunque tradicionalmente se han utilizado elementos de hierro, este material es muy desaconsejable debido a su inestabilidad y los problemas de expansión consecuencia de los procesos de oxidación. En las propias balaustradas de las galerías Punta

Begoña se puede observar cómo los elementos con alma metálica han sufrido muchísimo más deterioro que los fabricados en masa.

Actualmente existen otras opciones como los pernos de titanio, acero inoxidable, carbono o fibra de vidrio (Mas, 2006).

Teniendo todo esto en cuenta, en esta tesis doctoral se han comparado cinco encolantes y la necesidad o no de introducción de armadura. Como adhesivos inorgánicos se han probado: la pasta de cemento CEM II/B-L 32.5 R (Lemona) por su similitud a los materiales originales; el mortero de reparación estructural plus (Axton); y el mortero comercial PLM – M (CTS), se trata de un mortero preparado a partir de cales hidráulicas. La reintegración o encolado de elementos de cemento portland con morteros de cal no es aconsejable, pero se quiso introducir el mortero PLM- M puesto que son los morteros de reparación más habituales en el mundo de la conservación.

Como adhesivos orgánicos se ha probado la resina EPO121 (CTS), un producto bicomponente epoxídico termoestable, cuyo fabricante lo recomienda para el encolado de elementos de hormigón, así como el Primal B60, un polímero acrílico termoplástico, muy utilizado en la restauración de otros materiales.

Para el caso de las galerías al no necesitar una gran fuerza, pero tratarse de un entorno muy hostil para los metales, se ha optado por testar el uso de espigas de fibra de vidrio corrugadas como refuerzo de la unión.

Para comparar su comportamiento se han manufacturado distintas probetas, las cuales se han sometido a un ensayo de penetración de sales por capilaridad y penetración de contaminantes ambos descritos en los apartados de metodología 5.4, 5.5 y 5.6.

Durante la preparación de las muestras ya podemos apreciar un comportamiento diferente según el material. La resina EPO 121, se adapta fácilmente a las fracturas y rellena todas las irregularidades, en cambio, el primal B60 funciona bien en las zonas que encajan entre sí pero, cuando se trata de zonas con pérdidas, se retrae, no llegando a sellar completamente las piezas. Los encolantes de naturaleza inorgánica (CEM II/B-L 32.5 R, reparación estructural plus, y PLM-M) se han comportado de manera adecuada, aunque, a excepción del PLM-M, eran preparaciones bastante gruesas, que requerían la aplicación de una capa considerable, la cual dificultaba el perfecto encaje de las piezas.

En el ensayo de penetración de sales por capilaridad (figura 70), la utilización de refuerzos de fibra de vidrio no presentaba diferencias notables. Los que si producían anomalías son los encolantes de naturaleza orgánica, que retardaban, o incluso impedían la ascensión de las sales, respecto a los de naturaleza inorgánica, cuyo comportamiento respecto a la sal es similar al testigo (figura 71).



Figura 70. Ensayo de penetración de sales por capilaridad en el 15º día. En la parte superior se encuentran las probetas con armadura y en la inferior las sencillas.

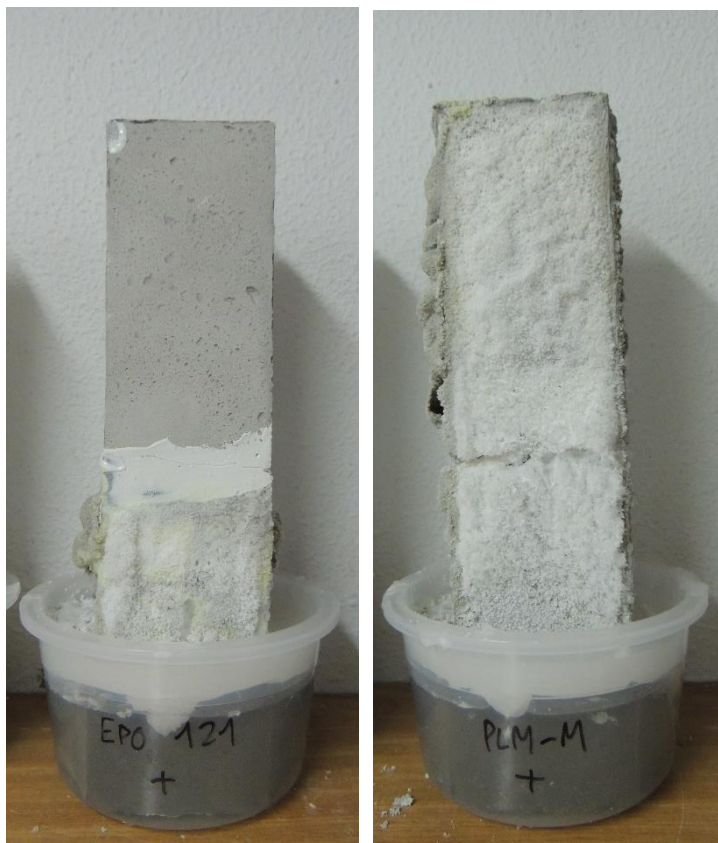


Figura 71. Comparación del comportamiento de las sales en el día 15º del ensayo entre la muestra correspondiente a Epo 121 (izq.) y la correspondiente a PLM-M (dcha.)

En el caso de la utilización de Primal B-60 con armadura, cabe destacar la disolución y decantación en el fondo del recipiente de parte del adhesivo.

El ensayo de penetración de contaminantes (figura 72) no ha aportado resultados concluyentes. Las zonas alteradas no se corresponden con las zonas atacadas, lo que probablemente se deba a la mayor resistencia de unas zonas del mortero respecto a otras. Sería interesante repetir el ensayo en unas muestras con mayor homogeneidad.



Figura 72. Ensayo de penetración de contaminantes.

Tras las experiencias obtenidas, se decide la utilización de dos adhesivos, la resina EPO121 (CTS), cuando se necesite fijar piezas pequeñas que requieran encajar con exactitud, y el mortero de reparación estructural plus (Aston) con varilla de fibra de vidrio corrugada en los demás casos.

7.4.3. Reproducción de elementos completos

En Patrimonio Construido, en ocasiones, es necesario reproducir elementos faltantes por tener una función práctica, lo cual es más sencillo en el caso de los elementos seriados ya que podemos conocer su aspecto original con mucha más facilidad.

El uso de moldes es ideal para la reproducción de elementos prefabricados, no solo por el acabado final, si no por su similitud a la técnica original de creación.

Se denomina molde a toda pieza o conjunto de ellas, en las que se genera un hueco para posteriormente rellenarlo del material que se desee (Navarro, 2011). Los sistemas de moldeo tradicionales son de tipo directo, es decir, se realizan sobre la pieza original, esto puede suponer ciertos riesgos para la obra tanto por su manipulación, como por la impregnación permanente de algunos de los materiales que constituyen los moldes (Mas, 2006). Al respecto, en este trabajo, se propone el uso complementario de técnicas indirectas, lo que permite realizar reproducciones de calidad sin poner en riesgo la pieza original.

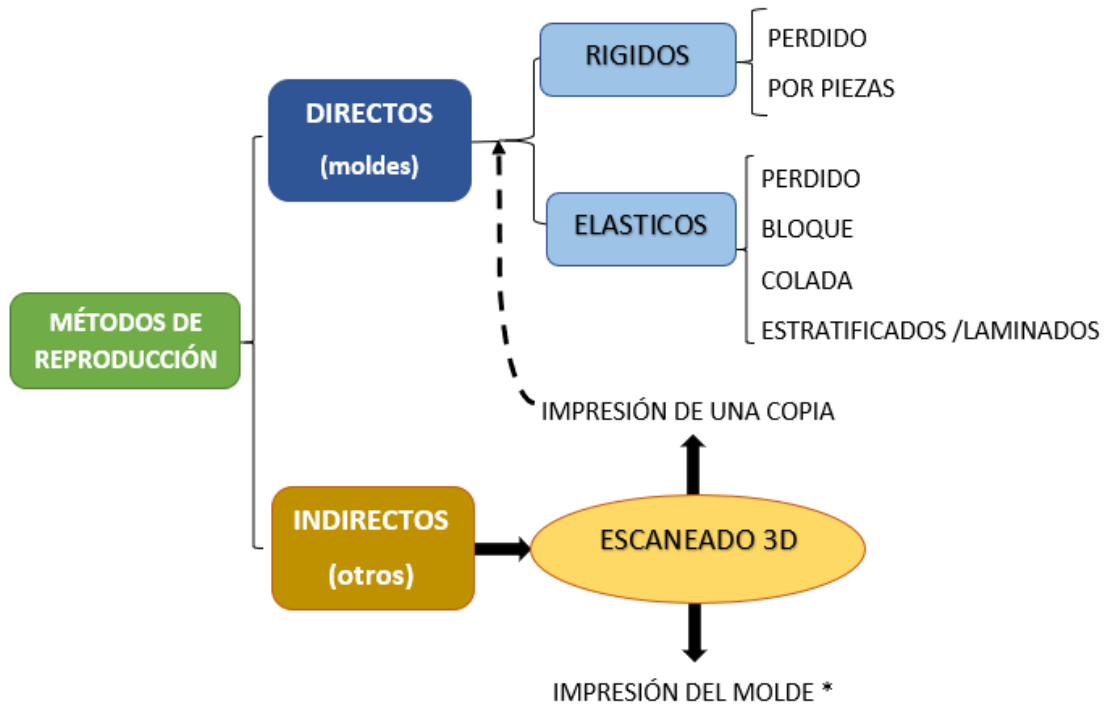


Figura 73. Esquema de los distintos métodos de reproducción.

Las técnicas de reproducción directas, dependiendo de las características de los materiales en los que se realicen, podemos agruparlas en rígidos o elásticos (figura 73). Los primeros moldes están prácticamente en desuso, para intervenciones en Patrimonio Construido, solían basarse en la realización de un molde en yeso. En el caso del molde perdido, se modelaba la pieza deseada en arcilla o cera y se hacía el molde y se extraía la cera o el barro, para rellenarlo con el material definitivo. Una vez terminado se destruía el molde de yeso para extraer el positivo. En el molde rígido por piezas se subdividía la superficie del original en pequeñas zonas que no presentaran contrasalidas, creándose un negativo de yeso para cada una de ellas. Estos negativos se ensamblaban entre si permitiendo extraer el original y reutilizar el molde varias veces. Esta técnica se ha utilizado tradicionalmente para la realización de reproducciones en yeso de piezas clásicas.

En contadas ocasiones, si se usan para intervenciones en Patrimonio Construido, moldes rígidos por piezas sustituyendo el yeso por fibra de vidrio y resina de poliéster (figura 74). Estos moldes permiten la manufactura de un elevado número de positivos, pero no son demasiado prácticos cuando se trata de elementos complejos.



Figura 74. Moldes rígidos utilizados para la reproducción de elementos en la intervención realizada en el Torreón de Zarautz (2019).

Los moldes elásticos se basan en el uso de polímeros como el látex o las siliconas. Según el diseño del molde, se distinguen tres tipos: bloque, colada y laminado (figura 75 y 76).

El molde de bloque es el más sencillo de realizar, pero solo se puede utilizar con piezas que no presenten contrasalidas y de un tamaño relativamente pequeño. Este sistema consiste en fijar la pieza a la base de un recipiente y rellenarlo con silicona. Cuando esta cataliza se elimina el recipiente y se extrae el original por la zona de la base.

Los moldes tipo colada son los que permiten manufacturar piezas más complejas, pero también son los más difíciles de elaborar. Consiguen trabajar con piezas pequeñas y medianas. A grandes rasgos, consiste en aplicar una capa de plastilina o arcilla sobre la pieza a reproducir y, sobre esta, crear un contramolde en yeso o fibra de vidrio. Una vez endurecido se elimina la plastilina o la arcilla y se vierte silicona en el espacio que queda entre el contramolde y el original.

Los moldes laminados o estratificados son con diferencia los más utilizados en la reproducción de elementos en Patrimonio Construido, por su gran versatilidad y permitir trabajar sin tener que mover la pieza de su posición. Este tipo de moldes son ideales para trabajos in situ y en piezas medianas y grandes.

El proceso de laminado consiste en ir añadiendo, sucesivamente, diferentes capas de silicona o látex, hasta conseguir el espesor deseado, para después aplicar al menos dos capas de fibra de vidrio y una resina para generar el contramolde.



MOLDE DE BLOQUE



MOLDE DE COLADA



MOLDE LAMINADO

Figura 76. Ejemplos de uso de los diferentes tipos de moldes.

Se denominan métodos indirectos a aquellas técnicas de reproducción que no requieren contacto directo con la obra. Esto siempre va a ser más respetuoso con los originales, y permite la reproducción de elementos que - por sus características materiales o de su estado de conservación - sería imposible realizar un molde al uso.

Se han ensayado otras posibles aplicaciones mediante el escaneado digital y la impresión 3D para la reproducción de elementos arquitectónicos.

La digitalización 3D es ya bastante habitual en el campo del Patrimonio Cultural, en especial las técnicas de escaneo laser y levantamiento fotogramétrico. Las técnicas de impresión 3D se han comenzado a aplicar en el contexto de los museos, tanto para la realización de reintegraciones volumétricas, como para la manufactura de modelos de alta fidelidad para los museos tiflológicos (Consuegra, 2001).

En el caso que nos ocupa, las balaustradas de las galerías Punta Begoña, la reproducción de elementos completos es necesaria para los modelos A y B debido a su estado de conservación. Para el modelo A se ha optado por la aplicación de un método directo, mediante la creación de un molde elástico con la técnica del laminado.

En primer lugar, se ha recogido uno de los balaustres sueltos que se encuentra completo, se le ha añadido desmoldante y, a continuación, se le ha aplicado una primera capa de silicona Silastic 3481 mezclada al 5% con su catalizador. Una vez endurecida la primera capa se le han sumado otras dos manos de silicona, esta vez con un agente tixotrópico. En la ejecución de la tercera capa se han colocado unos prismas de silicona que harán de separación entre las partes del contramolde y facilitarán la unión entre ambos. Posteriormente, se han añadido dos capas de resina acrílica Jesmonite AC100 reforzada con trozos de fibra de vidrio cuatriaxial. Una vez catalizada se han realizado los agujeros para los tornillos que mantendrá unido el contra molde. Finalmente, se ha extraído el original y positivado el molde (figura 77).



Figura 77. Proceso de realización de un molde laminado convencional con un balaustre del modelo A.

Este es el sistema de reproducción más habitual actualmente en el Patrimonio Construido. No así en la reproducción del balaustre del modelo B, en el que, al solo conservarse una pieza completa, se ha optado por el uso de una técnica de reproducción indirecta, para no arriesgar el único original que se conserva. Para ello se efectuó un levantamiento fotogramétrico de la pieza conservada, a partir de él se imprimió una copia a tamaño real, a través de la impresión 3D FDM en PLA. A partir de este elemento se manufacturó un molde elástico laminado, tal y como se ha descrito en el caso anterior (figura 78 y 79).

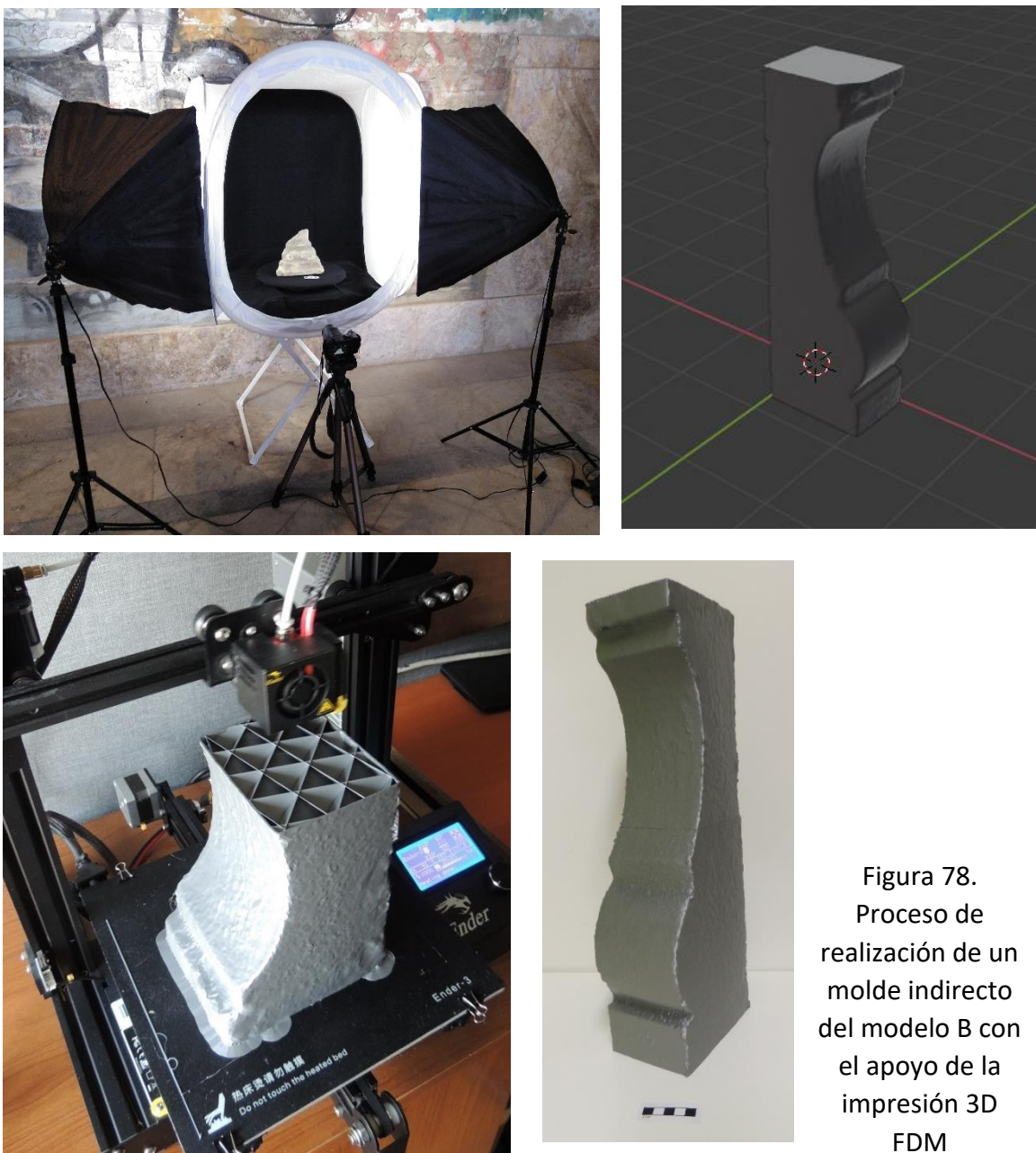


Figura 78.
Proceso de realización de un molde indirecto del modelo B con el apoyo de la impresión 3D FDM



Figura 79. Proceso de realización de un molde indirecto del modelo B con el apoyo de la impresión 3D FDM

Actualmente, a nivel industrial, se está experimentando con otras opciones como la impresión en 3D del molde, o la inclusión de cargas inorgánicas que imiten el hormigón en los filamentos de impresión FDM, aunque todavía no tienen la calidad suficiente como para su aplicación en Patrimonio.

7.4.4. Reintegración volumétrica de elementos incompletos

En algunos casos no se han conservado suficientes elementos como para intervenir de la manera que se explica en el apartado anterior. Según la información de la que se disponga, el contexto en el que se encuentra el prefabricado, y el uso que se le vaya a dar al edificio será necesario actuar de manera diferenciada. En las Galerías Punta Begoña encontramos dos casos: la balaustrada modelo C y el modelo D, en los que se ha optado por soluciones distintas.

En el modelo C se conoce la disposición de los elementos y su forma, a excepción de la parte central del balaustre. La zona en la que está ubicado es el acceso original de la galería SW y, aunque hasta la instalación de la balaustrada ha permanecido cerrada por seguridad, en origen se deseaba recuperar estas zonas para las visitas al público. Por todo ello, en este caso, se propuso una reconstrucción de las balaustradas, en las que se incorporaran todos los fragmentos existentes, procurando que los añadidos no tomaran excesivo protagonismo, pero permitiendo una discernibilidad para no caer en un falso histórico.

En cambio, la situación del modelo D fue muy distinta, ya que se desconocía su ubicación, su forma completa y la disposición de sus elementos, por lo que, en este caso, como se ha mencionado previamente, se optó por la catalogación y almacenamiento de las partes por su valor arqueológico con respecto a la historia del conjunto arquitectónico.

Para la reconstrucción del modelo C, en primer lugar se analizó el estado de conservación de la zona de acceso en el 2018; posteriormente se realizó el desescombro lo que permitió la recuperación de muchos elementos fragmentados.

Posteriormente se efectuó un estudio geométrico detallado de las piezas, por otra parte en colaboración con el grupo GPAC de la UPV/EHU, se buscaron los documentos gráficos en que pudiera aparecer representada esta zona, encontrando solo una fotografía en la que esta balaustrada

aparece al fondo (figura 52). Esta imagen nos permitió confirmar el aspecto general que indicaba el estudio geométrico y comenzar el diseño de las partes faltantes. En el caso de los balaustres se decidió colocar en la parte inferior las piezas con mayor volumen, en base a la estética predominante en la época; por otro lado, el fuste se diseñó liso, simplemente como unión de las partes conocidas.

Respecto al remate de la pilastra inferior del tramo que acaba en la galería, no se planteó su reproducción al no contar con suficiente información de su forma y no ser necesario para la correcta lectura de la zona.

Con esta información, se procedió al comienzo de la ejecución material de la obra. En primer lugar, se preparó una terraja con el contorno de la pieza y, siguiendo la técnica tradicional descrita en el capítulo 4.2, se creó un prototipo en yeso de un balaustra completo. Se realizó un molde laminado de silicona tal y, como se describe en el apartado 7.3.3 para el modelo A. Aunque la técnica básica es la misma, en este caso se han incluido aberturas en los dos extremos, y las capas de silicona presentan un grosor mucho mayor. Estas modificaciones tenían por objetivo permitir la colocación de los fragmentos originales dentro del molde, quedando finalmente incorporados en las piezas nuevas.

Este sistema de moldeo es más complejo que los anteriores, pero permite incorporar al máximo los fragmentos originales a la par de agilizar enormemente los procesos de restauración (figura 80).



Figura 80. Inclusión de fragmentos de silicona para permitir la mayor adaptación del molde. 2021.

7.4.5. Ensamblaje e instalación

La recolocación de las piezas ha de adaptarse a las casuísticas de cada obra en concreto y a su estado de conservación. En este caso se ha efectuado la reconstrucción de una pequeña zona del modelo B, a manera de ensayo, ya que previamente a estos trabajos debería realizarse todas las reparaciones necesarias a nivel estructural.

En las labores de restauración, los refuerzos metálicos se han demostrado inadecuados debido a los procesos de oxidación. Actualmente, en el mercado, se pueden encontrar gran variedad de varillas de fibra de vidrio (figura 81), habiéndose utilizado en este trabajo las varillas de fibra de vidrio corrugadas de 1 cm. de diámetro de la casa comercial CTS. Cuando los elementos sean de gran complejidad puede ser necesario recurrir a personal especializado en el cálculo de las estructuras.



Figura 81. Modelos de barrillas de fibra de vidrio lisas y corrugadas. 2021.

Para el ensayo de reintegración se ha seleccionado el tramo superior del modelo B tramo 35.4*. Además de los balaustres, que se han reproducido como se aprecia en el capítulo 7.3.4, ha sido necesario positivar también el poste que hace de remate a la balaustrada y un tramo de barandal superior (figura 82 y 83).



Figura 82. Proceso de realización del poste del remate rectangular. 2020.



Figura 83. Proceso de realización del barandal superior

Una vez preparadas todas las piezas se han realizado los agujeros necesarios en los barandales. Con ayuda de un mortero específico para restauración de hormigón se han colocado sobre el barandal inferior los balaustres y el poste de remate. Después, se ha aplicado más mortero y sobre ellos se ha colocado el barandal superior. Por último, con ayuda de un nivel y un mazo de goma se ha nivelado todo el conjunto (figura 84).



Figura 84. Ensayo de recolocación de las piezas.

7.5. Conclusiones a cerca de la reintegración volumétrica en las Galerías Punta Begoña

Poniendo en valor este patrimonio y realizando un trabajo minucioso desde el principio se pueden recuperar, en gran medida, elementos que parecen completamente perdidos. La gran variedad de técnicas y variantes del proceso de moldeo puede permitir a un profesional cualificado efectuar las reintegraciones volumétricas de estos elementos con el máximo respeto hacia el original. Dada la diversidad de sistemas de moldeo, se hace necesario tener muy presentes los Criterios de Restauración, con el fin de marcar claramente las diferencias entre las partes originales y las nuevas aportaciones, de manera que se cree una unidad entre los diversos elementos, sean originales o nuevos pero que, a su vez, se identifiquen con facilidad las piezas nuevas.





**8. LOS SUELOS DEL EDIFICIO
"EL CARMEN": METODOLOGÍA
PARA LA RECUPERACIÓN
DE MOSAICO HIDRÁULICO**

8. LOS SUELOS DEL EDIFICIO "EL CARMEN": METODOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DE MOSAICO HIDRÁULICO.

El mosaico hidráulico, también denominado pavimento hidráulico, baldosa hidráulica, baldosa de cemento comprimido, mosaico de cemento, mosaico calcáreo, loseta hidráulica o loseta criolla, hace referencia a una técnica decorativa a partir de uso de morteros comprimidos, utilizada para el recubrimiento de suelos en la segunda mitad del siglo XIX y la primera del XX (Casabo, 1958).

La terminología de esta técnica es muy ambigua, por lo que se usan diferentes términos, o se intercambia su significado, dependiendo de la zona. A continuación (figura 85) se indican los términos principales y su significado a lo largo de este trabajo que se centra en el mosaico hidráulico: sus orígenes, materiales, manufactura y conservación.

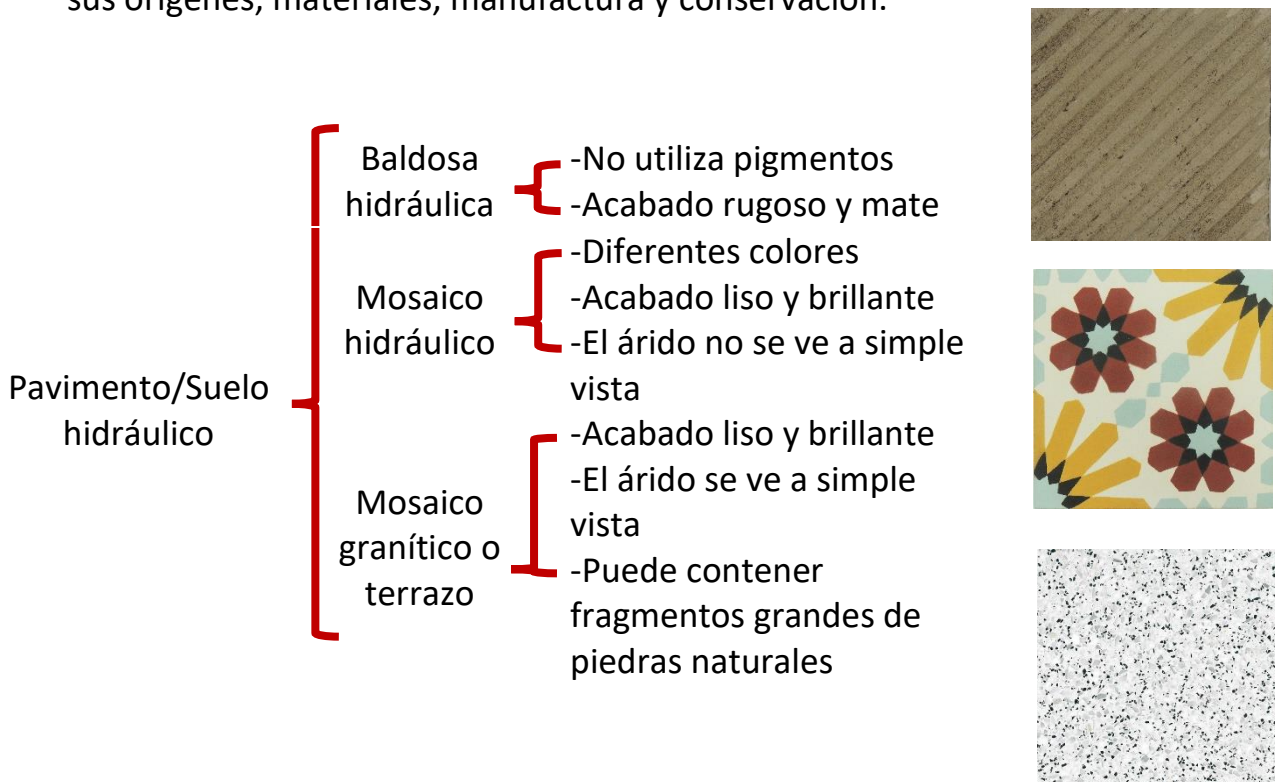


Figura 85. Comparativa de los distintos términos utilizados en este trabajo. 2021.

El estudio de este tipo de recubrimientos es muy importante para la Conservación de Patrimonio Construido ya que, en muchos casos, tienen un gran protagonismo decorativo en las obras y fueron escogidos, en origen, con una finalidad artística clara. Es un elemento característico de los edificios Modernistas y Art Decó.

El mosaico hidráulico da lugar a una baldosa fabricada a partir de morteros de cemento Portland, los cuales se prensan en el interior de un molde. Su característica principal es una cara superior con una textura muy fina, con acabado satinado o brillante (Hernández, 2009).

8.1. Origen y evolución del mosaico hidráulico

En el sentido estético, el mosaico hidráulico es heredero del mosaico geométrico romano (González-Novelles, 2010) pero, en su aspecto técnico, el primer antecesor del sistema que nos ocupa son los baldosines fabricados 'al banchetto'. Forman parte de una técnica tradicional aparecida en italiana en el siglo XVIII, en la cual una porción de cemento natural se comprimía en un molde de madera con la ayuda de un mazo para, posteriormente aplicar a espátula una pasta coloreada y, después, bruñirla. Esta técnica producía piezas irregulares y de relativa fragilidad, no utilizándose habitualmente en espacios nobles (Casabo, 1958; Hernández, 2009).

La baldosa hidráulica como tal surgió en Francia en torno a 1860-1870 (Pitarch y Dalmases, 1982) extendiéndose rápidamente a España y Bélgica. Esta técnica decorativa saltó de Europa a las antiguas colonias, por lo que tuvieron un fuerte arraigo en Latinoamérica y el norte de África (Bravo-Nieto, 2015).

Aunque se cree que hubo algunos casos anteriores (La Progresiva en 1851 y Bustems 1856) se suelen considerar como primeros fabricantes en España: la casa Garrera, Rivet y Cía en 1867, Bustems en 1873 y Orsola, Solá y Cía en 1876. Esta última, junto a Escofet y Fortuny, aparecida 1886, constituyendo los mayores exponentes en la fabricación de mosaico hidráulico en España (Burgos, 2009; Bravo-Nieto, 2015; Rodríguez, 2018).

Este tipo de suelo tuvo una fuerte expansión hasta principio de los años 30, debido a su bajo coste de fabricación, la sencillez del proceso productivo, la posibilidad de realizar motivos casi ilimitada y su facilidad de colocación. La Guerra Civil paralizó la fabricación de dichos elementos, retomándose con más fuerza a nivel industrial, pero con una pérdida en lo estético, buscando diseños funcionales mucho más sencillos (Bravo-Nieto, 2015).

A finales de los años 50 del siglo XX este sistema fue sustituido, paulatinamente, por el mosaico de granito y el terrazo. En los años 60 la producción de mosaico hidráulico en Europa prácticamente había desaparecido, conservándose las técnicas tan solo en el norte de África y América Latina (Bravo-Nieto, 2015).

A principios del siglo XXI se comenzó a poner en valor en España el pavimento hidráulico tradicional, con lo que aparecieron nuevos talleres especializados en su fabricación. Además, a partir de la segunda década del s. XXI, se retoma su uso por parte de los decoradores de interiores aunque, en este caso, la mayor parte de veces, se utilizan piezas cerámicas que imitan los motivos del mosaico.

8.2. Sistema de fabricación

A mediados del siglo XIX, ante la necesidad de producir pavimentos de calidad, a precios económicos, surgieron nuevas técnicas como el mosaico de Nolla (González-Novelles, 2010), el mosaico incrustado a fuego, y el mosaico hidráulico. Los dos primeros de naturaleza cerámica y el último a partir de conglomerantes hidráulicos (Hernández, 2009). La sencillez de producción de este tipo desbanco a los demás y se convirtió en la técnica exclusiva a partir de principios de s. XX. Por el contrario, su gran expansión produjo la existencia de gran número de fabricantes, con variaciones tanto en su método productivo como en la calidad final del producto. En este apartado se ha descrito la sistemática más habitual.

8.2.1. Materiales

El mosaico hidráulico está formado por distintos tipos de mortero, y como tal, parte del uso de: agua, conglomerante, y árido. Además, el mosaico hidráulico utiliza diferentes pigmentos para lograr los colores.

Igual que se ha indicado en el capítulo 4.1 para la fabricación de mosaicos se requiere un agua de calidad, como para la fabricación de cualquier mortero u hormigón. Esta ha de ser potable, libre de sales y materia orgánica, no siendo idóneo el uso de agua destilada (Casabo, 1958; Herrerueta, 2014).

El árido más adecuado para la capa exterior, es la arena de río, de naturaleza silíceo muy fina, y lo más blanca posible. Para algunos procesos, se puede mezclar hasta con un 50% de polvo de mármol (Casabo, 1958).

Como aglutinante se utiliza el cemento artificial tipo Portland, de color gris para las capas interiores y los colores oscuros y, blanco para la realización de colores claros. Casabo (1958) indica que algunos fabricantes añaden cal para abaratar los costes, pero esto produce piezas de peor calidad. Para el cemento, conviene seleccionar uno de fraguado no excesivamente rápido. Algunos fabricantes y casas comerciales utilizaban el denominado cemento “Estacionado” el cual se dejaba extendido sobre un lugar seco unos 15-20 días, removiéndolo diariamente.

Para la capa más exterior del mosaico hidráulico, además, se utilizaban pigmentos para la obtención de los distintos colores. Estos han de ser de naturaleza inorgánica y resistentes a medios alcalinos, por lo que eran preferibles los óxidos metálicos. Las materias colorantes más usados se recogen en la tabla 9.

Tabla 9. Pigmentos aptos para la fabricación de mosaico hidráulico a partir de los trabajos de Casabo (1958) y Hernández (2009)	
Color	Pigmento
Negro	Óxido de hierro (Fe_3O_4) Óxido de manganeso (Mn_3O_4) Negro de humo*
Rojo	Óxido rojo de hierro (Fe_2O_3)
Amarillo	Ocre (Óxido de hierro hidratado) Cromato de Zinc (ZnCrO_4) Cromato de bario (BaCrO_2)
Verde	Óxido de cromo (Cr_2O_3)
Azul	Óxido de cobalto (Co_2O_3) Azul de Prusia (Ferrocianuro férrico)
*el negro de humo puede producir la aparición de sales	

Estos pigmentos han de tener una composición química conocida y de la mayor pureza posible. En ocasiones, los pigmentos comerciales son aditivados con anilinas, o se rebajan con la introducción de creta (carbonato de calcio) o yeso (sulfato de calcio). Este último es de especial importancia, ya que su presencia superior al 15% en el pigmento puede producir grietas en la pieza resultante (Casabo, 1958).

El uso de pigmentos inadecuados, o de baja calidad, puede ocasionar muchos problemas, tanto durante el proceso de producción (alteraciones del fraguado), como en el envejecimiento de las piezas (pérdida de color y aparición de sales).

La expansión industrial del mosaico hidráulico generó la aparición de empresas especializadas en la producción comercial de pigmentos y mezclas ya preparadas (figura 86), lo que dificulta, muchas veces, la identificación de los pigmentos.

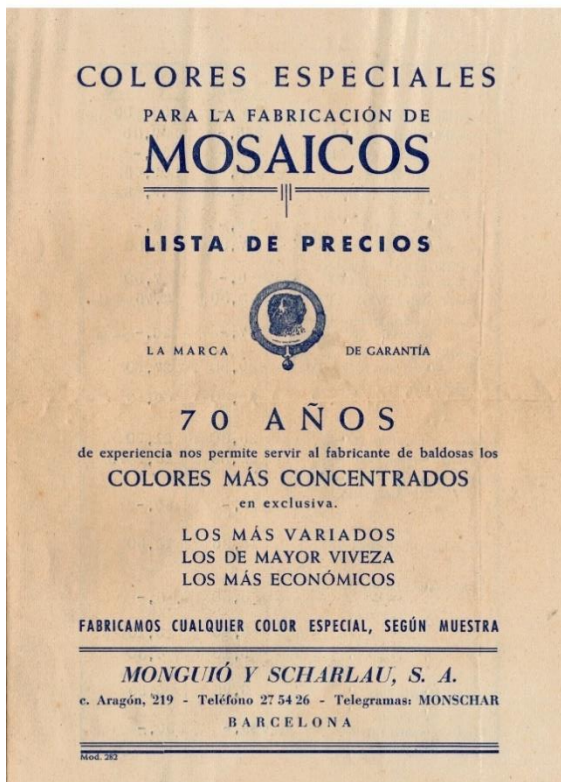


Figura 86. Portada del catálogo de colores para fabricación de mosaicos de la casa Monguió y Scharlau S.A. (1954). Colección particular.

En general, el uso de aditivos para la producción de mosaicos es desaconsejable, aunque algunos fabricantes los utilizaban para reducir la aparición de grietas en el proceso de fabricación o a fin de obtener baldosas impermeables. Algunos de estos aditivos fueron: estearato de calcio o de aluminio, aceite de parafina, cloruro cálcico, jabones insolubles, arcilla coloidal u otras emulsiones (Casabo,1958).

Respecto a las herramientas, los dos elementos básicos en la fabricación del mosaico son la prensa y la horma. La prensa es el más costoso y complejo. Dependiendo de la época y la capacidad económica del fabricante podemos encontrar desde pequeñas prensas de tornillo, prensas hidráulicas de diferentes capacidades, hasta maquinaria más compleja, creada a partir de

la inclusión de diferentes mecanismos en la prensa, lo que permite un trabajo casi automatizado.

Para dar forma a las baldosas se usan hormas con el fin de prensar los materiales. Estas suelen estar compuestas por: un marco, una base y un tapón (Hernández, 2009). Según su disposición, existen dos modelos principales: la de tipo francés, en la que el marco se abre y cierra con una palanca, y abraza a la base; y la italiana, con un marco fijo que se apoya sobre una base plana. Actualmente el modelo italiano ha quedado prácticamente en desuso (figura 87) (Casabo, 1958).

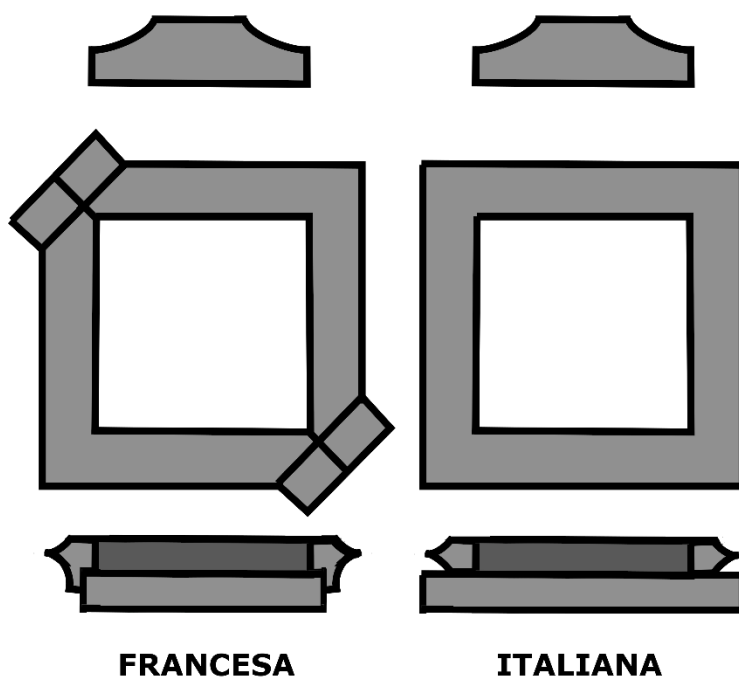


Figura 87. Horma de tipo francés y de tipo italiano.

El formato mayoritario del mosaico hidráulico son piezas cuadradas de 20x20 cm, o hexagonal de 10 cm de lado. Existen otros formatos, pero son muy minoritarios. A nivel industrial, cada formato requiere la utilización de una horma específica. En la parte superior de esta se suele poner el logo del fabricante o algún dibujo (figura 88). Esto tiene una doble función, por un lado, permite identificar al fabricante y, por otro, mejora la adhesión al mortero utilizado para la colocación (Hernández, 2009).



Figura 88. Reversos de diferentes baldosas con sus correspondientes marcas de fabricación. Colección Particular.

Para la realización de los dibujos de los mosaicos es necesario el uso de un divisor o trepa, algunos autores también lo denominan rejilla o timbre. Este está compuesto por un fleje de latón, cinc o hierro galvanizado, con la forma del dibujo, que permite rellenar cada compartimento con la pasta coloreada que corresponda (Casabo, 1958; Hernández, 2009).

Así, se han expuesto los materiales y herramientas indispensables para la fabricación de mosaico hidráulico, aunque existen otras opcionales como pesos de precisión, molino de bolas, tanques de agua para el curado de las piezas, etc. Además, puede ser necesaria la utilización de pequeñas herramientas como caceroleas de pico, para verter las distintas pastas, o muñequillas para la aplicación del desmoldante (tabla 10).

Tabla 10. Algunos de los desmoldantes utilizados según Casabo, 1958		
Materiales	Proporción	Observaciones
-Aceite de linaza crudo -Petróleo refinado o keroseno	1:4	
-Aceite de linaza -Aguarrás	3:2	
-Aceite de nabina -Petróleo	1:2	
-Trementina -petróleo	1 L 2.5 L	Casabo (1958) afirma que este desmoldante

-Colofonia -Sebo	350 g 500 g	previene la aparición de manchas
-Grasa de cordero -Aceite de oliva -Trementina	1:1:5	Casabo (1958) afirma que este desmoldante previene la aparición eflorescencias salinas

8.2.2. Métodos de producción

Si es la primera vez que se va a fabricar un modelo de mosaico, previamente, se ha de conocer el diseño y los colores a utilizar en las piezas. A continuación, se prepara una trepa con los dibujos deseados.

Una vez solucionados estos elementos se puede comenzar con la producción en cadena. En primer lugar, se preparan los distintos morteros deseados. El mosaico hidráulico, de manera general, está formado por tres capas (figura 89): la pastina (también denominada color o acabado) que forma la decoración, una capa intermedia llamada seca (brasague o fino), y el grueso de la baldosa formado por la baña (denominada también gros, mezcla o respaldo) (Casabró, 1958; Aguirre, 1994).



Figura 89. Esquema de las partes de una baldosa.

Para la preparación del color o pastina, el pigmento y cemento se unen en seco en la cantidad deseada. Aunque el mezclado se puede realizar de manera manual es aconsejable pasar el conjunto por un molino de bolas. González-Novelles (2010) indica proporciones de entre 5-12.5% de pigmento en el cemento. De manera habitual se aplica cemento gris, pero para los colores claros es necesaria la utilización de cemento blanco. Aunque su uso es muy desaconsejable, se pueden encontrar mosaicos realizados con cemento gris mezclado con pigmentos blancos (albayalde,

óxido de cinc, blanco de España), cal, o cementos tipo Sorel (basados en óxidos y cloruros de magnesita y de zinc) (Casabo, 1958).

Una vez coloreado el cemento, se mezcla con arena fina en una proporción de 2.5 partes de cemento coloreado y 1 parte de arena. Algunos fabricantes utilizan polvo de mármol como árido, pero Casabo (1958) desaconseja que este supere el 50% de la cantidad de árido. La proporción de agua ha de permitir que la mezcla sea suficientemente fluida para rellenar todos los espacios de la trepa, pero no exceder la capacidad de absorción de la seca. El exceso de humedad, en esta capa, produce problemas tanto en la fabricación (líneas borrosas y dificultades en el desmoldeo), como en su envejecimiento (menor dureza y mayor facilidad de exfoliación) (Casabo, 1958).

El seco es una mezcla de arena fina y cemento en una proporción del 20-30% de arena y, del 70-80% de cemento. Si se utiliza una arena más gruesa se puede aplicar al 50:50. La baña se prepara también en seco, con una parte de Portland y 4-5 partes de arena (tabla 11) (Casabo, 1958).

Tabla 11. Dosificaciones habituales (Casabo, 1958; Hernández, 2009; González-Novelles, 2010)	
Capa	Dosificación
Pastina	-2.5 partes de cemento coloreado+ 1 arena fina
Seca	-2.5 partes de cemento + 1 de arena fina -1 parte de cemento + 1 parte de arena gruesa -2-4 partes de cemento +1 de arena
Baña	-1 parte de cemento+ 3.5 arena gruesa -1 parte de cemento+ 3-5 de arena

Una vez preparados todos los componentes, se coloca la base del molde sobre el banco de la prensa y, con ayuda de una muñequilla, se aplica desmoldante. Después, se coloca el marco y se le añade también desmoldante. En su interior, se fija la trepa y se rellena cada espacio con la pastina del color correspondiente. A continuación, se retira la trepa y se espolvorea encima la seca (Hernández, 2009), esta tiene como objetivo absorber el agua de las pastinas, evitando que las líneas se emborronen y la pieza se pegue a la horma, aunque un exceso de esta puede generar problemas de exfoliación ya citados (Casabo, 1958). Posteriormente, se

añade la baña y se enrasa, para poner el tapón del molde e introducirlo en la prensa. Dependiendo de la potencia de prensado con la que se cuente, se suele variar la cantidad de agua utilizada (tabla 12).

Tabla 12. Variaciones en el sistema según la presión. A partir de los trabajos de Casabo (1958).		
Denominación	Presión	Observaciones
Vía húmeda	50-70 kg /cm ²	El más habitual para el mosaico hidráulico
Vía semiseca	150-300 kg /cm ²	Baldosas de colores lisas y de acabado más basto
Vía seca	>250kg /cm ²	Actualmente en desuso

Una vez prensado se extrae del molde con cuidado y se dejan endurecer los componentes. Muchos fabricantes endurecen las piezas al aire, aunque para un mosaico de alta calidad, se debe orear durante un par de horas y, a continuación, quedar sumergidas en agua durante tres o cuatro días. Posteriormente las piezas se sacan del agua y se les aplica humedad, con frecuencia durante otros tres o cuatro días. Finalmente se dejan endurecer el tiempo necesario, alrededor de 20 a 30 días (Casabo, 1958).

Los costes del transporte, así como la relativa sencillez de los medios necesarios para su elaboración, dieron lugar a la aparición de gran número de talleres lo que, a su vez, originó una gran variedad en la calidad de los materiales, las dosificaciones y el posterior envejecimiento de las piezas.

8.2.3. Instalación

Con el auge de este tipo de técnicas apareció un oficio especializado en su instalación, denominado 'solador', aunque con el paso de los años y la simplificación de los motivos, sus funciones fueron absorbidas por los albañiles (Casabo, 1958).

En primer lugar, se ha de nivelar el suelo sobre el que se va a instalar el mosaico, con la ayuda de un nivel y distintas reglas. En caso de que se coloque sobre un suelo natural, se comienza igualándolo y apisonándolo (Casabo, 1958), aunque esta opción es muy desaconsejable de cara a la futura conservación del mosaico, ya que con el tiempo la pérdida de

resistencia del suelo generará movimientos y fracturas en el mosaico hidráulico.

A continuación, se extiende una capa de hormigón bastante seco que se apisona y se deja endurecer. Posteriormente, se vierte una capa más fluida de un mortero, con una parte de cemento y tres de arena. Aunque, en algunas ocasiones es imposible, lo ideal sería que la instalación completa del pavimento se realice en una sola jornada (Casabo, 1958; González-Novella, 2010).

Antes de proceder a la instalación hay que decidir su completa disposición y, si es necesario, cortar las piezas para adaptarse a las medidas de la habitación. Las baldosas han de estar húmedas para su correcta adhesión. Lo ideal es, antes de instalarlas, sumergirlas en agua al menos dos horas y dejarlas escurrir en vertical sobre una arpillera limpia (Aguirre, 1994; González-Novella, 2010).

Para la instalación en sí del mosaico se rocía con agua el lecho de mortero tendido previamente, se prepara un mortero con dos partes de arena y una de cemento, que se utilizará como asiento del propio mosaico. Este se irá aplicando conforme se coloquen las baldosas. Para el ajuste existen dos sistemas: el golpeo individual de cada pieza; o el ajuste al tendido consistente en colocar una zona y después presionar con una regla, para asegurarse de que todas las partes se encuentran en el mismo plano (Aguirre 1994). Una vez que el mosaico ocupa la mayor superficie del suelo, será necesario colocar unas tablas para poder pisar sobre él sin mover las baldosas y, desde estas plataformas, completar la parte final del suelo. Al cabo de unas horas de su colocación, se mojan las baldosas y se barre el suelo, a continuación, se prepara una pasta de cemento con agua y se rellenan las juntas con ella (Casabo, 1958; Aguirre, 1994). Antes de que el cemento fragüe del todo se echa serrín en el suelo y se barre hasta eliminar todos los restos en la superficie de las baldosas. Previamente a poder pisar el pavimento se ha de esperar al menos cuatro o cinco días (Aguirre 1994).

8.3. Chalé El Carmen: Ubicación e historia

El chalé El Carmen (figura 90), es una residencia unifamiliar de tres plantas, construido a finales del s. XIX. Esta edificación apareció, junto a muchas otras, con la creación del barrio del Sardinero. La zona ocupa el espacio de costa situado entre la Península de la Magdalena y Mataleñas. Este barrio se empezó a urbanizar a mediados del siglo XIX con el comienzo de los veraneos y la moda de los “Baños de Ola”, construyéndose gran número de segundas residencias de burguesía castellana, así como todo tipo de servicios como tranvías, hoteles, casino, etc. (Gasset, 2020).



Figura 90. Vista general de la finca. 2019.

La Avenida de los Infantes, donde se encuentra “El Carmen”, se creó entre 1845-1847, como unión de Miranda con el Sardinero, conociéndose popularmente como el “Paseo de los Coches”. Después, fue llamada “Avenida principal” y, en 1915, se bautizó oficialmente con el nombre de “Avenida de los Infantes” en honor al Infante Carlos de Borbón y su esposa M^ª Luisa de Orleans, que acostumbraban a veranear en Santander y se alojaban en el palacete situado entre la Av. de los Infantes y la Av. Pontejos (Zaldibar, 1915). Durante la Segunda República (1931-1939) se cambió el nombre por “Avenida de la Republica”. Tras la Guerra Civil (1936-1939), recupero el nombre de Av. de los Infantes, que aún se conserva en la actualidad.

El edificio que nos ocupa se construyó en lo que anteriormente eran los jardines de “Villa Elenita”, una gran mansión propiedad de la familia Campo Cruz, que subdividió parte de sus jardines para la construcción de dos nuevas viviendas (figura 91). De estos tres edificios el chalé “El Carmen” es el único que ha sobrevivido hasta la actualidad.

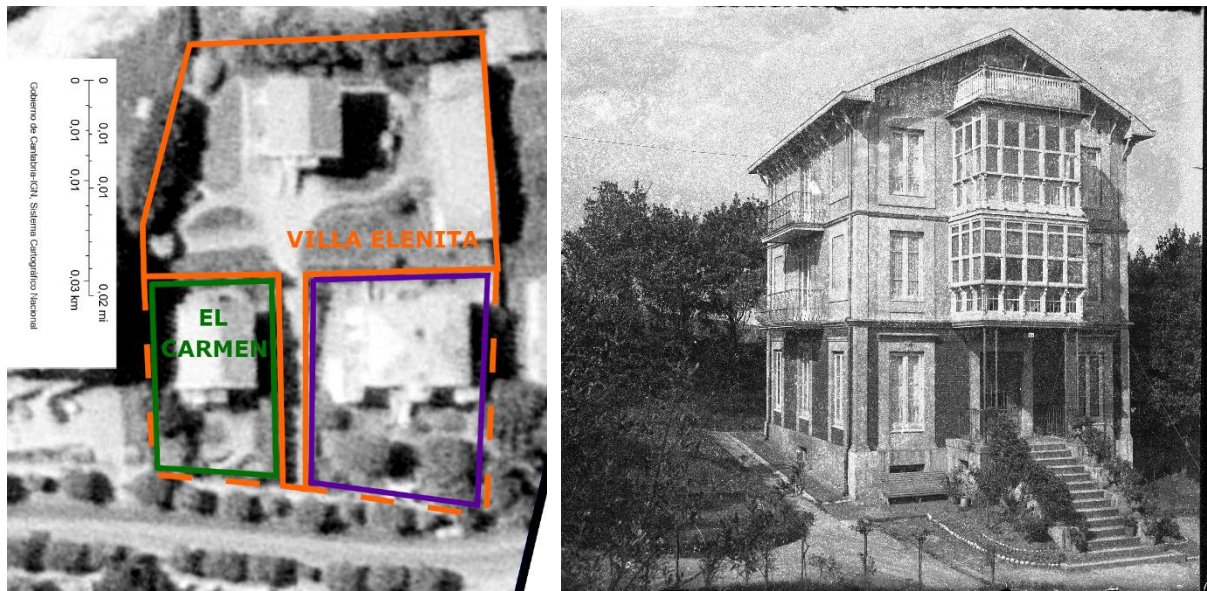


Figura 91. Ortofoto donde se indica la finca original de Villa Elenita, y la parcelación realizada para la construcción de dos nuevas viviendas (izq.) y Víctor del Campo Cruz: *Vista exterior de “Villa Elenita” en la Avenida de los Infantes, 1920-1940*, Colección Víctor del Campo Cruz, Centro de Documentación de la Imagen de Santander, CDIS, Ayuntamiento de Santander (dcha.).

Aunque se desconoce la fecha exacta de esta división, la primera referencia escrita al chalé “El Carmen” data de 1917 (Ecos de Sociedad, 1917). Entre 1928 y 1931 la casa fue alquilada como una escuela preparatoria militar con alumnos internos, dirigida por Rosendo Álvarez Breguel (figura 92).

Academia preparatoria Militar
 Dirigida por el comandante de Caballería
DON ROSENDO ALVAREZ BRÉGEL

Este centro, que ha conseguido ingresar sesenta alumnos en distintas carreras militares y de Ingenieros, admite alumnos para toda clase de carreras especiales, de Correos, Telégrafos, Aduanas, Comercio, Idiomas y Grado de Bachiller. A tal propósito, cuenta con la cooperación de competentes y expertos profesores, especializados en las distintas materias. Don Miguel Rodríguez, profesor mercantil; don Eugenio Vaquero, oficial primero de Correos. Varios profesores auxiliares de este Instituto, cuyos nombres daremos a conocer oportunamente. — Clases particulares, a precios convencionales, especialmente de preparación para Ingenieros. Se admiten internos.

AVENIDA DE LOS INFANTES, 17, "VILLA CARMEN"
TELÉFONO 2525. — SANTANDER

Figura 92. Anuncio aparecido el 20 de mayo 1931 en "El Cantábrico, diario de la mañana".

JULIO SOLER JOVER

INGENIERO INDUSTRIAL

CONSTRUCCIONES DE INGENIERIA Y EDIFICACIONES URBANAS, CONTRATAS, ESTUDIOS, PRESUPUESTOS

TALLERES MECANICOS DE CARPINTERIA INDUSTRIAL Y DE EDIFICACION

CONSTRUCTOR en Santander de

Casa de Salud Valdecilla.

Casa de Correos y Telégrafos - Central de la Compañía Telefónica Nacional.

Teatro Pereda - Gran Cinema - Cíneas Victoria.

DEPOSITO franco - Puente de Carandía - Casa-cuartel de la G. C.

Colegio de los PP. Escolapios - Convento de RR. Esclavas del S. C.

NAVES INDUSTRIALES de: La Ibero Tanagra, S. A. - Société

Générale des Cirages Français Aldus, S. A., etc., etc.

CASAS DE VIVIENDA de: Gandara - Quinta Mara - Quinta

Falla, etc., etc.

OFICINAS:

Hernán Cortés, 8. Teléf. 2460.

PARQUE, TALLERES Y ALMACENES:

Marqués de la Hermida (prolongación). Teléf. 3324.

SANTANDER

Figura 93. Anuncio aparecido el 11 de diciembre de 1932 en la revista Blanco y Negro. Hemeroteca ABC.

En 1932 la casa fue alquilada por Julio Soler Jover (1887-1966) y su esposa Mercedes Pérez Dagnino. Julio Soler fue un importante ingeniero industrial, decano y presidente de honor del colegio de ingenieros de Santander, Burgos y Palencia. También participó como promotor en la construcción de varios edificios en la ciudad de Santander, como en la Casa de Salud de Valdecilla, o el ya desaparecido teatro Pereda (figura 93). Al convertir el chalé "el Carmen" en su casa familiar realizó una gran reforma a la que se atribuyen la mayor parte de elementos decorativos. En los años sesenta Julio y su mujer, decidieron construirse una nueva casa más cercana al mar, quedándose a vivir en "El Carmen" uno de sus hijos, que finalmente acabaría comprando la vivienda.

El nombre "el Carmen" hace referencia a los carmenes granadinos, que son una tipología de jardín que tuvo un gran auge en el siglo XIX. El edificio se encuentra en una parcela elevada con respecto al nivel de la calle de unos 20x30 m., con salida a la Av. de los Infantes. El chalé tiene también forma rectangular, contando con un saliente en la fachada principal para dar servicio de mirador y terraza, y un añadido posterior en la parte trasera que hace la función de entrada. La disposición original de la casa se dividía en tres plantas, la planta baja sería el espacio más público, la planta intermedia contaba con los dormitorios familiares, y la última planta era ocupada por las habitaciones del servicio. Esta distribución, en origen, justifica que prácticamente todos los elementos decorativos se concentren en la planta baja y el jardín. En este aparecen distintos elementos de forja y cristal (algunos ya desaparecidos), balastradas prefabricadas de mortero y decoración cerámica en forma de trencadís (figura 94).



Figura 94. Distintos elementos decorativos en el conjunto.

En el interior, en su planta baja, existían tres estancias con mosaico hidráulico: el acceso de servicio, el comedor (figura 95), y la cocina, esta última actualmente desaparecido.



Figura 95. Imagen general del acceso trasero (izq.) y del comedor (dcha.). 2020.

El mosaico hidráulico del acceso de servicio trasero tiene una forma rectangular de 240 x 200 cm, con una disposición típica de alfombra (figura 96). Cuenta con cuatro modelos de baldosas, todos ellos cuadrados, de 20x20 cm. El que conforma el perímetro es liso de un tono marrón. La cenefa y su esquinero cuentan con motivos geométricos en tonos rojizos que enmarcar una iconografía central de círculos y estrellas. Tras la realización de la primera cata de arrancado en el 2020, se pudo conocer que las baldosas de esta habitación fueron fabricadas por la casa comercial “La Cantábrica – A. Barros” ubicada en Santander.

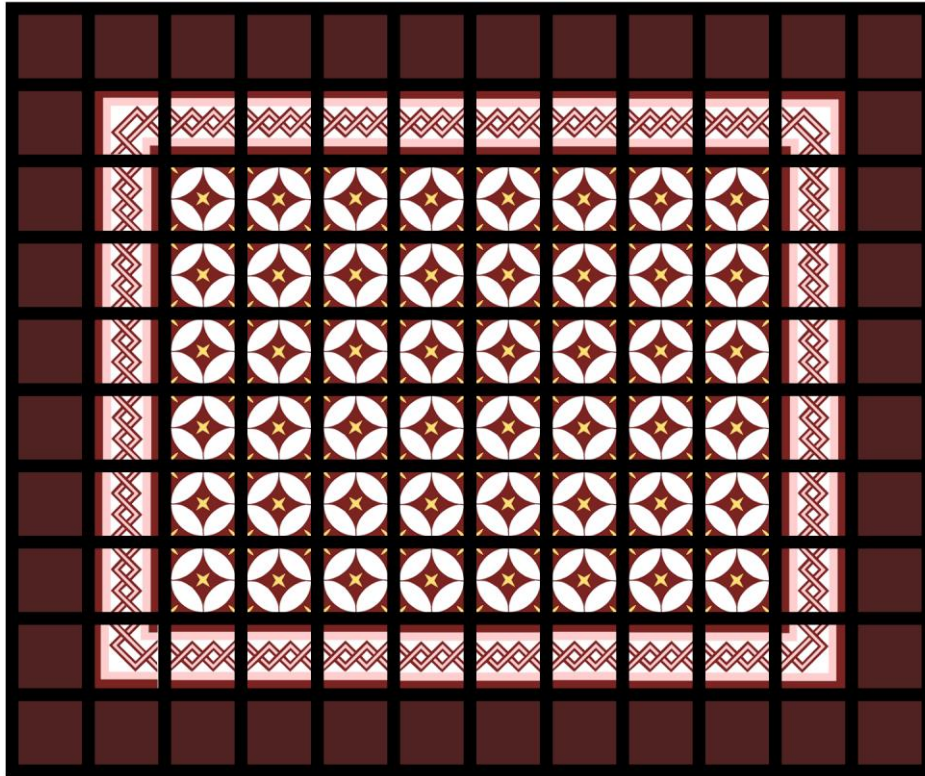


Figura 96. Esquema general del mosaico de la entrada

El mosaico hidráulico del comedor (figura 97) tiene una forma rectangular de 450x460 cm, también con una disposición de alfombra, en este caso tiene un añadido de más piezas lisas en uno de los lados largos. Cuenta con cinco modelos, cuatro de ellos cuadrados de 20x20 cm, dos lisos, la cenefa y su esquinero y el modelo central, con forma de hexágono de 10 cm de lado. Los hexágonos y los elementos de la cenefa son de la casa comercial "V.Valderrama", y los lisos de "la Cantábrica - A.Barros".

No se conoce la fecha de instalación de ninguno de los mosaicos. En el estudio previo al arranque se planteó que estos pavimentos dataran de la intervención realizada por Julio Soler en 1932, pero los restos de periódico encontrados adheridos al reverso de una de las baldosas hexagonales (figura 98) podría situar la instalación entorno a abril de 1892.

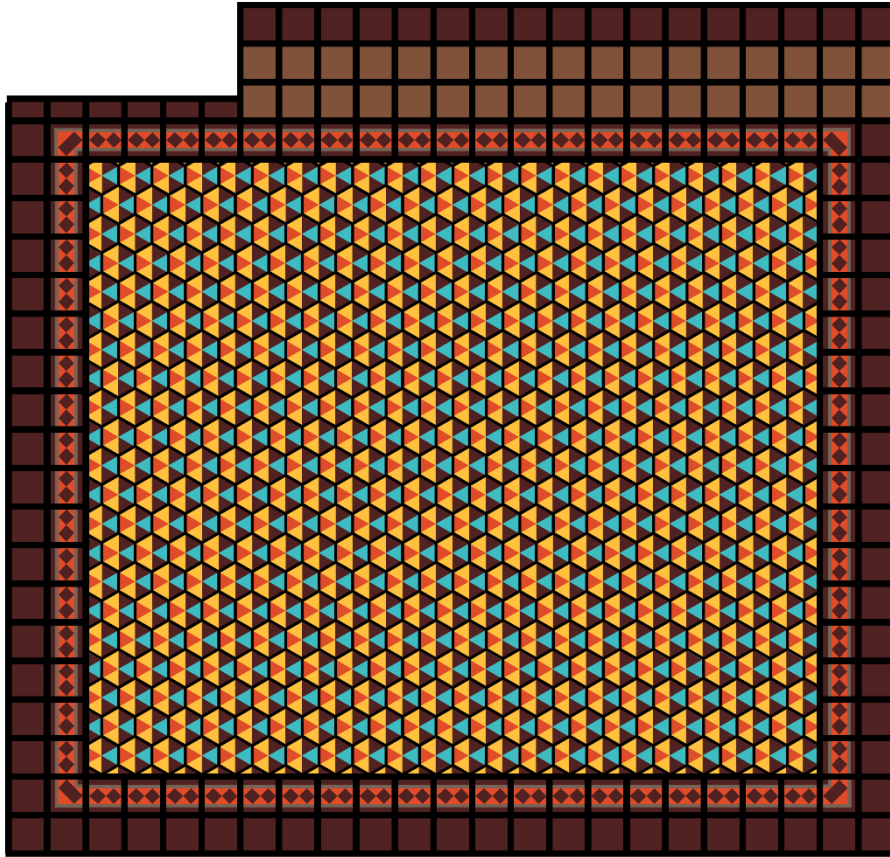


Figura 97. Esquema general del suelo del comedor

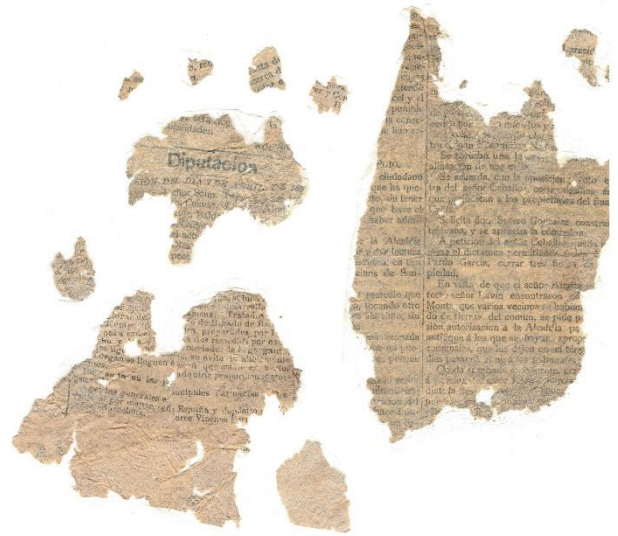
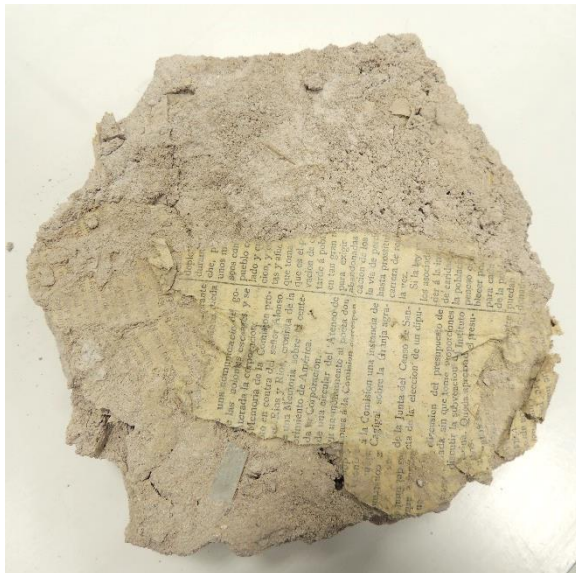


Figura 98. Restos de periódico encontrados en el mortero

8.4. Estado de conservación de los suelos

El pavimento de la entrada trasera presenta grandes daños (figura 99 y 100), a simple vista el más llamativo es la pérdida de unos 60 cm del suelo original debido a dos reformas consecutivas de la habitación contigua, la cual fue invadiendo parte del espacio anteriormente ocupado por el mosaico. También se aprecia la realización de alguna intervención inadecuada por la inclusión de una pieza que no corresponde con el diseño de esta habitación.

A nivel estructural todo el pavimento tiene una forma cóncava, lo que ha producido micro fisuras en todo el conjunto, que sumado a la presencia de sales por capilaridad, compromete seriamente la integridad de estas piezas.

En la zona superficial encontramos manchas puntuales de tinta y muchas áreas con una capa de calcificación, esta se debe principalmente a que esta estancia ha tenido graves problemas de goteras, así como a las repetidas pérdidas de algunos electrodomésticos.



Figura 99. Se aprecia como la modificación de las medidas de la estancia ha producido la pérdida de parte del mosaico.

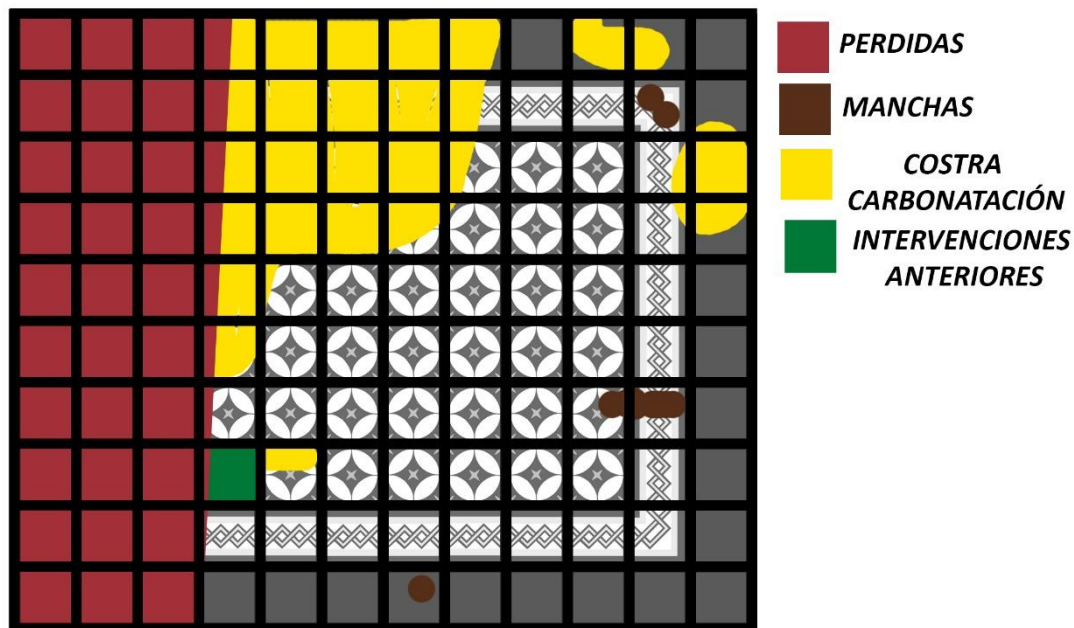


Figura 100. Mapeo de daños del acceso trasero. 2021.

El mosaico del comedor presenta un estado de conservación bastante aceptable. Tiene al menos dos intervenciones anteriores ya que en la zona superior encontramos un añadido de baldosas lisas, pertenecientes a otra tirada con un color ligeramente más claro, probablemente instalado cuando se eliminaron unos armarios empotrados que tapaban esa zona. También aparece un tramo de la cenefa fragmentado, incluso con una pieza mal colocada, que corresponde al levantamiento realizado en algún momento para la reparación de la estructura (figura 101).



Figura 101. Intervenciones anteriores. 2021.

También hay un abombamiento puntual en dos zonas del pavimento, derivado de deformaciones en la estructura, las cuales se solucionaron con una serie de refuerzos en la cimentación del edificio entorno al año 2000.

Este mosaico cuenta con fracturas ciertas piezas, manchas superficiales, y algunos puntos de decoloración por ácidos, pero en ningún caso estos presentan problemas de gravedad en el conjunto del suelo (figura 102).

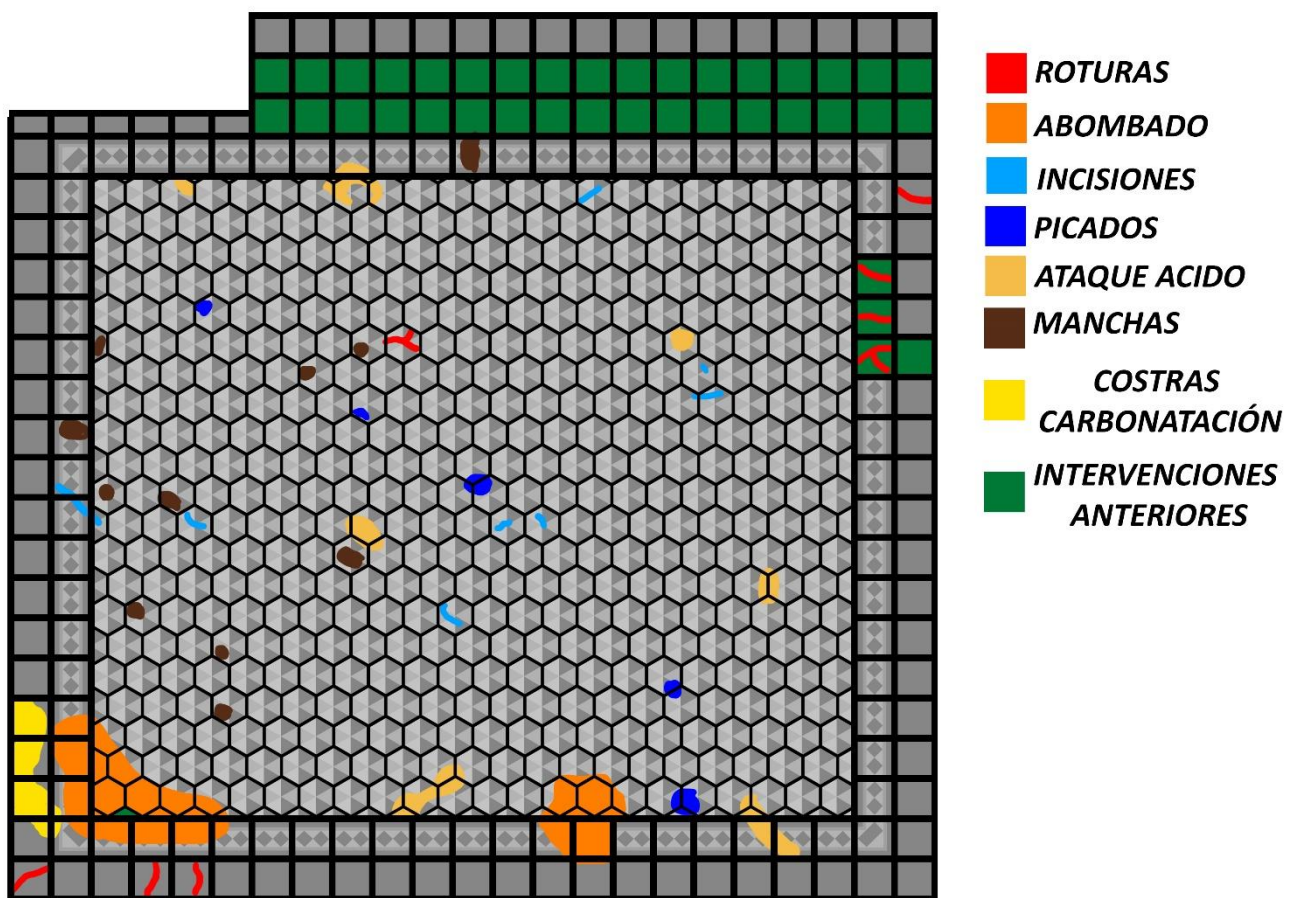


Figura 102. Mapeo de daños del mosaico del comedor.

Los dos conjuntos de mosaicos hidráulicos estudiados en el chalé "El Carmen" tienen un estado de conservación muy distinto, esto se debe, en gran medida, a las condiciones estructurales de las estancias que ocupan. En muchas ocasiones, los elementos decorativos con carácter arquitectónico sufren daños derivados de la naturaleza del propio edificio en el que se encuentran. El mosaico de la entrada trasera está ubicado en

una zona mal cimentada, en la que aparentemente se acumuló una cantidad de tierra comprimida sobre la que se asentó el pavimento. Esto facilitó la entrada de sales por capilaridad, además, con el tiempo, la tierra se fue compactando, quedando las propias baldosas y una fina capa de mortero como único sustento del suelo. En cambio, el mosaico del comedor está colocado sobre una sólida estructura de vigas de madera y bovedillas de ladrillo, la cual ha contribuido al buen estado actual de esa zona (figura 103).



Figura 103. Zona de entrada durante las pruebas de arrancado, en las que se puede ver la falta de apoyo del propio suelo (izq.) y parte inferior de la estructura que soporta el comedor (dcha.). 2021.

8.5. Propuesta de intervención

Antes de realizar cualquier tipo de intervención en un Bien Patrimonial, hay que conocer su naturaleza, sus componentes, así como su estado de conservación.

En el caso de los recubrimientos arquitectónicos el ideal sería intervenirlos in situ pero, en la mayor parte de ocasiones, esto no es posible puesto que los arquitectos y técnicos de estructuras suelen necesitar el acceso a las zonas que recubren estos elementos.

Siempre que sea posible hay que evitar los arranques ya que, aunque se hagan en las mejores condiciones, no deja de ser un proceso muy traumático para las piezas y, en ocasiones, peligraría su futura conservación.

8.5.1. Extracción de las piezas y eliminación de morteros

Valorando todo lo anterior, si la obra lo permite, y no queda más remedio, se procedería a la extracción de los mosaicos. En primer lugar, se ha de

catalogar y mapear todo el conjunto, asegurándonos de tener toda la información necesaria para la correcta recolocación posterior.

En el caso que nos ocupa, el edificio "El Carmen", fue necesario realizar el arranque completo de los suelos de ambas habitaciones. Una vez efectuado el estudio preliminar se llevó a cabo una pequeña cata en cada una de las habitaciones para así seleccionar el sistema más adecuado (figura 104).



Figura 104. Pruebas de arranque efectuadas en el 2020.

Durante la realización de las catas se comprobó que el tipo de cimentación de cada sala condicionaba seriamente el arrancado. En el caso del salón, el sistema de bovedillas creaba un pavimento estable que permitía un trabajo adecuado. En cambio, en la entrada trasera contaba con una cimentación muy deficiente, lo que originaba el desprendimiento del propio suelo al extraer el mosaico.

Existen gran variedad de herramientas para la extracción de las piezas que permiten adaptar el trabajo a las necesidades de la obra, como son: ventosas de cristalero, cinceles, espátulas, etc. También se puede recurrir al uso de herramientas eléctricas cuando la pieza lo permita (figura 105).



Figura 105. Distintas herramientas utilizadas para la extracción de piezas.

En el caso del comedor (figura 106), se optó por buscar una baldosa que oscilara, y se extrajo con una ventosa. Posteriormente, el resto se despegaron con facilidad con la ayuda de un par de cinceles y un mazo de goma. Las piezas se iban colocando en cajas con las caras enfrentadas, para evitar que los restos de mortero dañasen la superficie de las mismas.

Previamente a cualquier extracción de esta naturaleza, ha de plantearse el transporte y el almacenamiento temporal de las piezas. Lo ideal sería retirar los restos de mortero del reverso de la obra para optimizar el transporte y almacenamiento, pero, por temas logísticos de coordinación de gremios en las intervenciones en Patrimonio Construido, esto se consigue pocas veces. En el edificio “El Carmen” la eliminación de morteros se tuvo que realizar en el taller, y tras su extracción se calcula que el 40% del peso y del espacio de almacenaje correspondía al mortero.



Figura 106. Proceso de arranque del comedor.2021.

Para la eliminación de los mencionados restos de mortero se recurrió a distintos medios mecánicos. Estos debían permitir eliminar los restos de mortero del reverso de las baldosas sin ocasionar daños en la misma. Los medios de limpieza químicos, especialmente los basados en ácidos, son muy desaconsejables ya que, al compartir el mosaico y el mortero de unión la misma naturaleza, los productos diseñados para la eliminación del mortero también van a afectar a la pieza original. Los medios mecánicos son más controlables en este sentido, aunque su utilización inadecuada también puede ocasionar grandes daños (figura 107).



Figura 107. Piezas de mosaico hidráulico, en la que el mortero se ha eliminado con una amoladora, con su consiguiente daño en el reverso. Colección particular.

Se utilizaron dos sistemas dependiendo del estado de conservación de estas. Las piezas más delicadas, se fijaban a la mesa con el reverso hacia arriba y se realizaban una serie de cortes en el mortero con la ayuda de una sierra de mano, específica para materiales de construcción. Hechos estos hendidos, con la ayuda de un mazo de goma y un cincel, se procedió a despegar los distintos trozos (figura 108). Las piezas que por su estado de conservación lo permitían, se fijaban a la mesa y, con la ayuda de un taladro percutor (con una cabeza tipo cincel, ajustado al modo de solo percusión y

a la potencia mínima) se iba retirando la capa de mortero de colocación (figura 109).



Figura 108. Proceso de eliminación de mortero con medios manuales. 2020.



Figura 109. Eliminación de morteros con la ayuda de un taladro percutor. 2021.

8.5.2. Encolado de piezas originales

En este caso, al igual que en las balaustradas de Punta Begoña, se han comparado cinco encolantes y su comportamiento ante un envejecimiento de sales por capilaridad (apartado 5.5). Como adhesivos inorgánicos se han probado: la pasta de cemento CEM II/B-L 32.5 R (Lemona) por su compatibilidad con los materiales originales; el mortero de reparación estructural plus (Axton); y el mortero comercial PLM – M (CTS) que está formulado a partir de cales hidráulicas (la reintegración o encolado de elementos de cemento Portland con morteros de cal no es aconsejable, pero se quiso introducir el mortero PLM- M puesto que son los morteros de reparación más habituales en el mundo de la conservación).

Como adhesivos orgánicos el Primal B60 (polímero acrílico termoplástico, muy utilizado en restauración) y, en el lugar de la resina EPO121 (CTS), se optó por Araldite Cristal (resina epoxi), en este caso transparente, ya que el blanco intenso de la EPO121 podía tomar demasiado protagonismo si quedaba visible en algún punto.

En su aplicación el comportamiento fue similar al realizado en el apartado 7.4.2 de la presente tesis doctoral, la pasta de cemento y el mortero de reparación, alcanzaban más grosor en las juntas, pero rellenaban mejor las pérdidas. En cambio, el mortero PLM- M y los productos poliméricos unen las piezas de una forma muy limpia, pero tienen muy poca capacidad de relleno en las pérdidas.

Tras el ensayo, todas las probetas mostraban los deterioros habituales de las sales en este tipo de elementos, pero no se apreciaban grandes cambios entre el uso de unos encolantes y otros. Esto, probablemente, se deba a que el plano de rotura y el flujo habitual de las sales son paralelos, no interfiriéndose mutuamente (figura 110).



Figura 110. Probetas de encolado de mosaico hidráulico al 6 día del envejecimiento de sales por capilaridad. 2021.

8.5.3. Reproducción de elementos completos

En ocasiones, podemos encontrar mosaicos incompletos o con falta de piezas, como es el caso del pavimento de la entrada que, como se describe

en el apartado 8.4, había perdido una zona de 60 x 220 cm. Para intervenir esta superficie, es inevitable recurrir a piezas de nueva factura. Según las necesidades de cada caso, se puede realizar una reintegración imitativa, si se conoce con exactitud la disposición y características de los elementos, u optar por algún elemento diferencial. Las variables para la diferenciación de las piezas nuevas pueden ser: su realización en un tono más bajo; la eliminación de alguno de los colores, lo que permite la lectura de conjunto, pero marcando una diferencia entre el material original y el nuevo que cuenta con un color menos (Gil, 2010); si las piezas nuevas se van a pulir, también se podría incluir una pequeña cantidad de áridos de color que, tras el citado pulido, generen un efecto puntillista.

En la reproducción de elementos completos, se recurre a la técnica original de creación. Para ello se prepara una trepa con los motivos de la pieza. Con la ayuda del colorímetro y un muestrario de dosificaciones conocidas escogemos los pigmentos y dosificación que más se adecuen (Chipperfield y Vázquez, 2012).

Llegado este punto se realizarían las piezas de forma tradicional como se describe en el apartado 8.2. Se deben preparar los diferentes morteros que se van a utilizar; se aplica desmoldante al molde; se coloca la terraja; y se vierten las pastinas; se retira la trepa; se espolvorea la seca y se aplica la baña. Posteriormente, se realiza el prensado, dejándose en un recipiente con agua para, finalmente, orearlo, al menos 28 días.

8.5.4. Reintegración volumétrica de partes faltantes

En la actualidad, los conservadores restauradores, a la hora de afrontar la reintegración volumétrica en mosaico hidráulico, recurren a las técnicas de reintegración en azulejos cerámicos. Estas técnicas son válidas en muchas ocasiones pero, a la hora de afrontar grandes superficies, su coste temporal de realización las puede hacer inabordables.

La reintegración volumétrica, en azulejos cerámicos, se basa en la aplicación manual de yesos o diferentes estucos, los que se rebajan por medios mecánicos para, después, proceder a la reintegración cromática, si esta se considera necesaria (Carrascosa y Lastras, 2006).

El uso de yeso es lo más habitual, debido a su facilidad de obtención y aplicación, pero presenta como inconveniente los movimientos de contracción que sufre al secar, así como su sensibilidad a la humedad,

pudiendo deteriorarse, con el tiempo, e incluso, producir la aparición de sales en los materiales originales (Carrascosa, 2009).

Estos inconvenientes promovieron la aparición de gran variedad de estucos. Los cuales se basan en la combinación de una carga, habitualmente yeso mate, con un aglutinante. Existe gran variedad de aglutinantes utilizados para hacer estucos: ceras, derivados celulósicos, polímeros acrílicos o vinílicos, resinas epoxi, etc. (Carrascosa y Lastras, 2006).

Una vez solucionada la pérdida de volumen, se procede a la reintegración cromática, la cual se ha de ceñir a los criterios básicos de cualquier restauración: legibilidad, reversibilidad y discernibilidad.

En el aspecto técnico normalmente se incluye una capa de impermeabilización en la zona reintegrada volumétricamente y, después, se aplica la reintegración cromática. En las piezas que van a regresar a su posición original, las técnicas utilizadas en los museos como gouache y acuarela no son aplicables, por lo que se hacen necesarias técnicas más resistentes al rozamiento y a los factores ambientales (Carrascosa y Lastras, 2006). Carrascosa y Lastra (2006) recomiendan, en estos casos, la utilización de resinas epoxi fluidas mezcladas con pigmentos naturales (figura 111).



Figura 111. Reintegración con yeso y gouache, solo apta si la obra va a exponerse en condiciones de museo.

Teniendo todo esto en consideración, en la presente memoria de Tesis Doctoral se proponen diferentes alternativas para la reintegración volumétrica y cromática de los suelos del chalé “El Carmen”. Se han tenido en consideración métodos más afines con la naturaleza material del mosaico hidráulico, y que puedan responder mejor al entorno en que está expuesto.

8.5.4.1. Reintegración con técnicas manuales

En primer lugar, se propone la reintegración con **cemento blanco y pintura al silicato**, para lo cual se coloca la baldosa con pérdidas en un bastidor con la forma de la pieza completa y se rellenan los faltantes con un mortero de cemento blanco y arena muy fina en una proporción de 1:1. Tras el fraguado y el endurecido del mortero se extrae la pieza del bastidor y se lijan las posibles irregularidades.

Para la reintegración cromática se propone el uso de pintura al silicato, por su gran resistencia y afinidad a los productos derivados del cemento artificial. En los ensayos realizados se ha optado por el uso de una pintura al silicato blanca marca Losung, a la cual se le han añadido distintas cantidades de pigmentos y, con la ayuda del colorímetro, se ha buscado el resultado más adecuado para cada uno de los elementos (figura 112).



Figura 112. Proceso de reintegración volumétrica y cromática con morteros de cemento y pintura al silicato. 2021.

Otra opción interesante sería la utilización de la **técnica del estuco mármol taraceado**. Este sistema es más complejo, pero permite un acabado brillante y, sobre todo, mayor resistencia a la abrasión, ya que al aplicarse el color en masa, la reintegración cromática no abarca solo la superficie, por lo que el desgaste no provocará la pérdida del color. Como desventaja se debe considerar que esta técnica solo es apta para su uso en interiores.

Para llevarla a cabo, en primer lugar, se debe disolver 1 kg de cola fuerte en 3.3 litros de agua y colocar al baño maría. Una vez se ha disuelto al completo, antes de quitarlo del calor, se añaden 300-400 gramos de cal apagada en pasta. Este aditivo tiene la finalidad de evitar la solidificación de la cola y su descomposición.

Después, se cogen 40 ml de esta preparación a los que se añade 1 litro de agua y 3.3 kg de yeso. Se mezclan todos los componentes hasta obtener una masa homogénea, a la que se incorporan pigmentos hasta obtener el tono que servirá de base. Tras lo cual, humedecemos el mosaico a reintegrar y, con la ayuda de un bastidor, rellenamos todo el volumen faltante. Una vez endurecido el estuco, se lija hasta obtener una superficie lisa. Si se desea un acabado brillante, seguidamente ha de comenzarse con el proceso de pulido. Para el estuco mármol consiste en la consecución de lijados, cada vez más finos, alternados con lechadas de estuco del color de fondo. Cuando se llegue a una lija de una granulometría de 600, se procederá a realizar los motivos con otros colores. Para ello se prepara el dibujo, y se incide en las zonas que se vayan a colorear, creando una oquedad de al menos 5 mm. Posteriormente se prepara la misma masa utilizada para la base, a la que se le da el color deseado para los motivos. Esta se inserta a manera de taracea en las oquedades y se deja secar. Una vez endurecido se puede proseguir con el proceso de pulido hasta obtener el acabado necesario (figura 113).

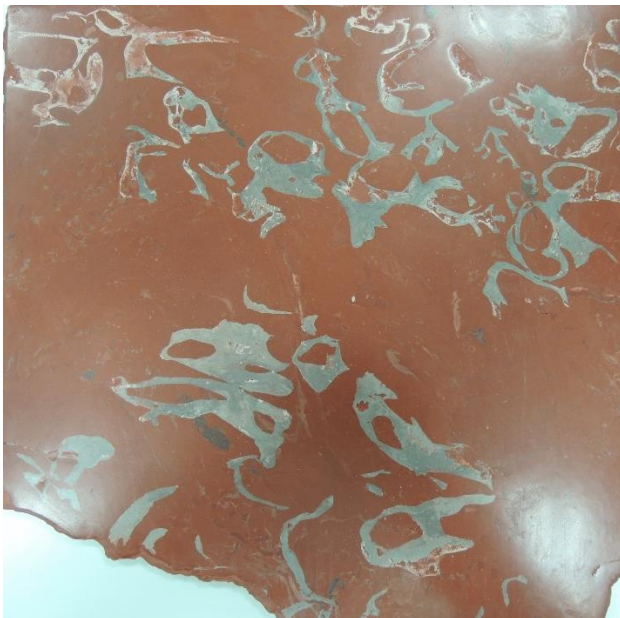
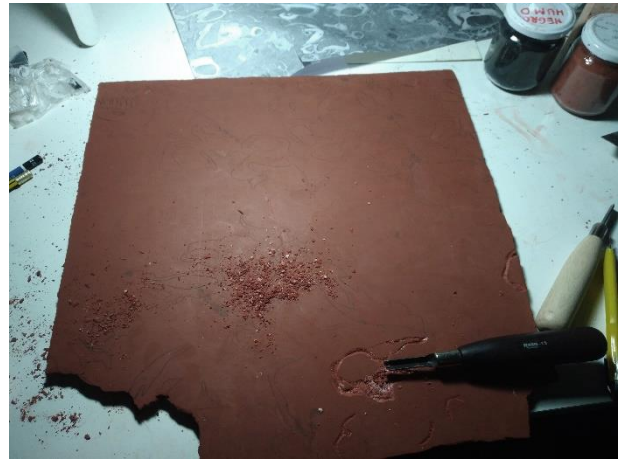


Figura 113. Proceso de realización de estuco mármol taraceado. 2021.

8.5.4.2. Reintegración con fragmentos nuevos

En los casos que se haga necesaria la reproducción de elementos completos, es interesante valorar el uso de fragmentos nuevos para la reintegración volumétrica de las piezas con pérdidas parciales.

Para ello se podría seleccionar una pieza de nueva factura y, sobre ella, se marcaría el contorno de la zona a reintegrar. Con la ayuda de un dremel y una muela adecuada se va cortando esta pieza hasta obtener dos fragmentos que encajen. Tras este proceso, la junta se encola con el producto escogido para el tratamiento de las fracturas en el resto del mosaico.

8.6. Conclusiones

Los pavimentos de mosaico hidráulico tienen un fuerte peso estético en el Patrimonio Construido. Por ello, han de intervenirse con el mismo respeto que otros elementos, usando criterios y materiales adecuados.

La reintegración con morteros de cemento blanco y pintura al silicato permite realizar una reconstrucción de gran calidad, con unos medios muy sencillos. Como limitación encontramos el acabado mate y un color aplicado en superficie.

La reintegración con estuco mármol es mucho más costosa, ya que es lenta y requiere el trabajo de personal con experiencia en esta técnica, pero presenta un acabado brillante y una mejor resistencia al desgaste.

Por último, la reintegración a partir de piezas nuevas puede ser una opción interesante cuando encontramos gran número de piezas con pérdidas. El estudio previo de cada obra y su estado de conservación permitirá la selección de la técnica más adecuada en cada caso.



***9. CONCLUSIONES
INTEGRADAS***

9. CONCLUSIONES INTEGRADAS

Los elementos decorativos del Patrimonio Arquitectónico catalogado como Bien Cultural cuentan, en muchos casos, con partes decorativas efectuadas con prefabricados de mortero y hormigón, en especial a partir de la segunda mitad del s. XIX.

La profundización en sus comienzos y evolución, a lo largo de los años, ha permitido analizar los métodos de construcción, así como los materiales, que forman parte de las citadas decoraciones. Todo ello gracias a las referencias bibliográficas, por un lado y, la toma de muestras para su análisis por otro, en los tres ejemplos que se describen en los capítulos 6, 7 y 8 de esta tesis doctoral.

Todo lo expuesto ha facilitado la comprensión de las piezas decorativas en una arquitectura, así como la doble función que en ocasiones tienen las citadas decoraciones: a nivel estructural y decorativo. Además, ha dado lugar a la identificación de algunos elementos decorativos que se correspondían con otras fases constructivas.

Tradicionalmente, las intervenciones en este tipo de elementos, se han abordado con metodologías de materiales pétreos naturales, basándose en el parecido estructural de los morteros, con una arenisca de gran homogeneidad, lo cual no es siempre lo más adecuado.

Las patologías que presentan las decoraciones van ligadas a la climatología de las zonas en las que se encuentren ubicados los edificios, así como a su orientación y al comportamiento que tengan los materiales que los constituyen.

Especialmente, la patología más característica de este tipo de elementos son los problemas derivados de la expansión de las armaduras, las cuales, si no se tratan adecuadamente, pueden suponer la pérdida de las piezas. Este es un problema muy complejo ya que el agente de deterioro principal forma parte de la propia obra, por lo que en muchos casos solo se puede prevenir o retardar los procesos de degradación.

En el capítulo 6 de la presente tesis doctoral se ha propuesto, de manera teórica, una clasificación de estos daños en tres niveles. De tal manera que, el nivel I se corresponde con los procesos internos de degradación por oxidación de las armaduras, pero que aún no han generado grietas por expansión. En este caso la propuesta más pertinente consta de una

desalación, una realcalinización y, por último, una capa de protección. El nivel II, que cuenta con daños por expansión en forma de roturas y grietas, debería resolverse añadiendo a lo citado en el nivel I, el sellado adecuado de estas grietas. La tercera casuística, requiere de la eliminación de la armadura metálica y su sustitución por varillas de fibra de vidrio.

La pérdida de elementos decorativos, como hemos visto en el capítulo 7, correspondiente a las galerías Punta Begoña, suele ser un problema habitual.

Se ha descrito el uso de diferentes tipos de moldes que permiten adaptarse en mayor medida a las características de la obra. El uso de la fotogrametría y la impresión 3D proporcionan la posibilidad de reproducir elementos sin requerir contacto físico con el material original. Por último, las modificaciones adecuadas a un molde elástico laminado dan la posibilidad de incorporar fragmentos originales en las nuevas piezas, respetando al máximo dicho original y facilitando las labores de reintegración volumétrica.

En el caso del chalé “El Carmen”, correspondiente al capítulo 8, se ha abordado un tipo, muy característico, de prefabricado decorativo, su mosaico hidráulico. Esta técnica, tiene un gran valor estético y es característica de la relación entre el Diseño y la Arquitectura. Existen diversos estudios respecto a estos recubrimientos, desde el punto de vista histórico, pero es necesario un estudio más pormenorizado desde el campo de la Conservación y Restauración.

En esta memoria se ha recogido el estudio del estado de conservación y arranque de los mosaicos hidráulicos en un caso concreto, así como los ensayos realizados con diversos materiales para su futura reintegración volumétrica.

En los citados capítulos 6, 7 y 8 hemos evaluado, a través de sendas probetas, que materiales son mas adecuados en labores de reconstrucción de las decoraciones.

Con sensibilidad, el correcto uso de las metodologías, y unos criterios de intervención adecuados, se pueden lograr resultados mejores que con los sistemas empleados hasta la fecha, lo que permite preservar para el futuro un mayor grado de originalidad del edificio.

En esta memoria de tesis doctoral se ha buscado poner en valor estos elementos, de cara a que el público en general y los propios conservadores, comprendamos mejor este tipo de decoraciones y disfrutemos del valor que, en muchos casos, aportan.





**10.FUTURAS LINEAS
DE INVESTIGACIÓN**

10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A lo largo de este proyecto de tesis doctoral se ha profundizado en distintas metodologías para la restauración de elementos prefabricados en arquitectura con carácter decorativo. En futuras investigaciones se plantea:

- Evaluar la idoneidad de los baños de realcalinización para el pasivado de las armaduras metálicas en Bienes de Interés Cultural.
- Los desmoldantes en el proceso de reproducción de elementos seriados. Estudio comparativo de sus ventajas e inconvenientes.
- Valorar la influencia de la calidad del prensado del mosaico hidráulico con respecto a su conservación, así como, buscar métodos reintegración que agilicen los procesos manuales que se describen en esta memoria.



ENTROU

réalisations
architecturales récentes
dessins - formes - ornements
60
PLANCHES

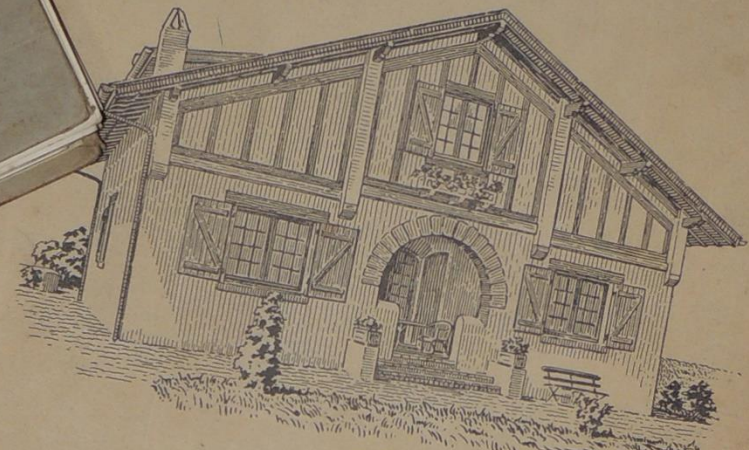


librairie
de la
construction moderne
éditeur
13, rue de l'odéon
PARIS

COLLECTION DE L'ART RÉGIONAL EN FRANCE

LOUIS COLAS
PROFESSEUR AU LYCÉE DE BAYONNE

l'Habitation Basque



PARIS
CH. MASSIN & C^e, Éditeurs
51, RUE DES ÉCOLES

FABRICA DE MOSAICO
ESTILO ROMANO
BALDOSAS HIDRÁULI



INFOR-VIDAL
DE HORMIGON ARMADO

MANUE

ERDI Y ZUBIZARRE
ZABALETA D Y E TELEF. 10182



AN SEBASTI

PARIS
SOCIÉTÉ DES TRAVAUX PUBLICS
1022
PROPRIÉTÉ DU DIRECTEUR DE L'ÉCOLE
Tous droits réservés

INSTRUCCIONES
MODERNAS
de
HORMIGÓN ARMADO

OSSE
III.
100
UNGSGITTER
VON
JOSEF FELLER.

F. VILAGUT
HORMIGÓN
PREFABRICADOS

11. BIBLIOGRAFÍA

11. BIBLIOGRAFÍA

- ACHE (2010). Manual de tecnología para aditivos para hormigón. ACHE
- Aguirre, M. (1994) El mosaico hidráulico en Cataluña, un aspecto artístico de la industria (Tesis de final de licenciatura), Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- Alegre, C., Tussell, G. y López, J. (2011) Técnicas y medios artísticos. Ramon Areces.
- Alejandro, F. J. (2002). Historia, caracterización y restauración de morteros. Secretariado de Publicaciones.
- Anuncio (20 de mayo 1931) *El Cantábrico, diario de la mañana*.
- Arroitia, G., Peraita, M. y Amezaga, J. (2020). Las 150 vidas de Horacio Echevarrieta. Surfing Challenge.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (1999). *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas*. (UNE-EN 933-2).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). *Pinturas y barnices. Envejecimiento artificial y exposición a radiación artificial. Exposición a la radiación filtrada de una lámpara de arco de xenón*. (UNE-EN ISO 11341:2004).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio*. (UNE-UN 112011:2011).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado*. (UNE 112083:2010).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*. (UNE-EN 197-1: 2011).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). *Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies*. (UNE-EN 15886:2011).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2014). *Conservación del patrimonio cultural. Metodología para la toma de*

muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas generales. (UNE-EN 16085:2014).

- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2017). *Conservación del patrimonio cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos.* (UNE 41810:2017).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2020). *Conservación del patrimonio cultural. Caracterización de morteros utilizados en el patrimonio cultural.* (UNE-EN 17187:2020).
- Bermejo, J. (2019) Las balaustradas como elementos de piedra artificial en las galerías Punta Begoña (Getxo). Estudio y caracterización (Trabajo de final de master). UPV/EHU. España.
- Bermejo, J., Solano, K., Lama, E., Madariaga, I., Venegas, C., Baceta, F., Rodríguez, M.D. (2018, septiembre). La seguridad como aval de la conservación preventiva de las Galerías de Punta Begoña. Poster presentado al VI Congreso del GEIIC, Vitoria, España.
- Brandi, C. (1977). Teoría de la restauración. Alianza
- Bravo-Nieto, A. (2015). La baldosa hidráulica en España. Algunos aspectos de su expansión industrial y evolución estética (1867-1960). *Revêtements céramiques* (8).
- Broto, C. (2005). Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. Barcelona, España: Links
- Burgos, A. (2009). Los orígenes del hormigón armado en España. Ministerio de Fomento.
- Calvo, A. (2016) Estudio comparativo de las galerías-miradores del siglo XX de Euskadi (Trabajo de final de master). UPV/EHU. España.
- Caro, J.L. (2012) Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. IX Congreso Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TuriTec'2012) – Málaga. España.
- Carrascosa, B. (2009). La Conservación y Restauración de objetos cerámicos arqueológicos. Tecnos.
- Carrascosa, B., Lastras, M. (2006). La Conservación y Restauración de la azulejería. Universitat Politècnica de Valencia.
- Casabo, J. (1958) Fabricación de mosaicos y baldosas de cemento. Nigar S.R.L.
- Chavarria, J. (2003). Moldes. Paramón.

- Chipperfield, D y Vázquez, F. (2012) Color en masa, hormigón y pigmentos. Ciudad de la Justicia de Barcelona. Lanxess.
- Cobo, A. (2001) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: causas y procedimientos de rehabilitación. Escuela de la edificación.
- Consuegra, B. (2001) Antecedentes históricos de las colecciones del Museo Tiflológico. *Integración: Revista sobre ceguera y deficiencia visual*. Nº 36 pp.17-28.
- Damas, L., Sagarna, M., Uriarte, J.A., Aramburu, A., Zabaleta, A., García-García, F., Antigüedad, I. y Morales, T. (2019) Understanding the pioneering techniques in reinforced concrete: the case of Punta Begoña Galleries, Getxo, Spain. *Building Research & Information*.
- Domouso, F. J. (2015) La introducción del hormigón armado en España: razón constructiva de su evolución. (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Domouso, F.J. (2005) Manuales sobre hormigón y cemento armado en España: 1902-1910. Cuarto Congreso Nacional de la Construcción, COAAT Cádiz.
- Ecos de Sociedad (11 de junio de 1917) *La atalaya, diario de la mañana*.
- Ferrer, A. (1995) La pintura mural su soporte, conservación, restauración y técnicas modernas. Universidad de Sevilla.
- Fundación Laboral de la Construcción (2009) Tecnologías de la construcción. Nivel básico. Conglomerantes, morteros y hormigones. Tornapunta.
- Gasset, M. (2020) Veranos en el Cantábrico. Casas y Familias 1885-1945. Turnen.
- Getxo, Ayuntamiento (1989). Acta notarial 633. A instancia de Don Joaquín Sotomayor Raimond, en nombre de "Punta Begoña, S.A.". Getxo: Ayuntamiento.
- Gil, A. (2010) *Actualización de los sistemas de estampación aplicados a papeles pintados panorámicos del primer tercio del s. XIX* (Tesis doctoral) UPV/EHU, Leioa, España.
- Gomá, F. (1979). El cemento portland y otros aglomerantes. Editores técnicos asociados.

- Gómez, J. (1927) La ideal: Fabrica de mosaicos hidráulicos, piedra artificial, mármol comprimido, tuberías de cemento. Santander, España.
- Gondra, J. [Galerías de Punta Begoña (Getxo, Bizkaia)] (2018, Marzo,22). Píldora documental 'Sanidad militar' [Video].Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=0BB2pGrSsGo>
- González-Novelles, N. (2010) El Mosaic hidràulic i la Casa Orsola Solà i Cia. (trabajo de fin de máster) Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona. España.
- Hernández, F. (2009). Las antiguas fábricas de mosaico hidráulico en Navarra. *Cuadernos de Etnología y Etnografía de Navarra (CEEN)*, 84, 55-95.
- Herrerueta, F. (2014). Pastas, morteros, adhesivos y hormigones. Tornapunta.
- Lama, E. (2017) Caracterización de las pinturas murales del salón de las Galerías de Punta Begoña (Getxo) (Trabajo de final de máster). UPV/EHU, España.
- Lama, E., (2020) Desarrollo de un protocolo integral para la puesta en valor de los elementos decorativos del salón de las galerías Punta Begoña (Getxo) (Tesis doctoral), UPV/EHU, Leioa, España.
- Lefol, G. (1922) Bréton Armé: Recueil documentaire d'ouvrages exécutés.
- Madariada, I. (2018) Diseño de protocolos de actuación para la eliminación de materiales acumulados sobre las piezas cerámicas de las galerías Punta Begoña en Getxo. (Tesis doctoral). UPV/EHU, Bilbao, España.
- Mas, X. (2006) Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultóricos – ornamentales (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València, España.
- Mas, X. (2010). Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamiento. Universitat Politècnica de Valencia.
- Navarro, J.L. (2011) Maquetas, modelos y moldes. Materiales y técnicas para dar forma a las ideas. Universitat.
- Odgers, D. (2018). Practical Building Conservation: Concrete. Routledge.

- Otero, E. (1997) Corrosión y degradación de materiales. Editorial Síntesis.
- Paya, M. (1975). Prefabricados de hormigón. CEAC.
- Pitarch, A.J. y Dalmases, N. (1982) Arte e industria en España, 1774-1907. Blume.
- PUBE S.A. (1987) Proyecto de reparación estructural de las galerías Punta Begoña. Getxo: Ayuntamiento.
- Restrepo, J.C., Restrepo, O.J. y Tobón, J.I. (2006). Efectos de la adición de metacaolín en el cemento pórtland. *Dyna* (150).
- Rodríguez J. A. (2018). Las fábricas de mosaico hidráulico y piedra artificial de Cartagena. En *II Congreso Internacional de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública. Patrimonio Industrial: pasado, presente y futuro* (pp. 167-181).
- Rodriguez-Navarro, C., & Doehne, E. (1999). Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(3), 191-209.
- Rosell, J. y Cárcamo, J. (1994). Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia. La Fábrica Ceres de Bilbao. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Bizkaia.
- Simonnet, C. (2009). Hormigón. La historia de un material. Ed. Nerea
- Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales. (1999). *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* (ASTM C876-91).
- Strike, J. (2004). De la construcción a los proyectos: la influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700-2000. Reverte.
- Valenzuela, A. (2015). Las patentes de hormigón armado. Del gran negocio al gran desarrollo tecnológico. Los antecedentes del Movimiento moderno. *Rita*, nº3, 134-145.
- Vicat, J.L. (1818) Recherches experimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires. P. Diot.
- Zaldibar, R. (28 de agosto 1915). Propositiones. *El Cantábrico, diario de la mañana*.
- Zornoza, A. (2016). Assessment with non-destructive techniques (NDT) of stone consolidation efficacy from architectural and archaeological Cultural Heritage: Influence of relative humidity to slow down damage and increase durability (Tesis doctoral). UPV/EHU, San Sebastian, España.