

# Casa Puig i Cadafalch en Argentina



# Declarada monumento de interés nacional en 1993, la Casa Puig i Cadafalch se encuentra en el municipio de Argentona (Barcelona). Construida entre 1897 y 1905 por el arquitecto modernista Josep Puig i Cadafalch, y diseñada como residencia de verano para su familia, la villa destaca por sus formas sinuosas y la fachada ornamentada con almenas, gárgolas, torrecillas y el movimiento creado por sus aleros cubiertos

*Después de años de abandono, en 2012 el Ayuntamiento de Argentona logró comprar la villa a los herederos de Josep Puig i Cadafalch con la idea de convertirla en una casa-museo para exponer todo el trabajo realizado por el arquitecto catalán. Una vez que se obtuvieron los fondos en 2015, fue posible comenzar con el trabajo de rehabilitación.*

*En el siguiente artículo, los autores del proyecto de rehabilitación relatan el proceso previo de análisis e investigación, así como la puesta en obra de las soluciones finalmente diseñadas.*

El objetivo compartido era recuperar el edificio y el jardín, como casa-museo, conservando todos sus valores patrimoniales, pero también buscando que fuese un lugar vivo de reflexión que dinamizara el futuro del entorno a partir del conocimiento del pasado.

Este objetivo estimuló desde el inicio para buscar la sostenibilidad y la excelencia en todo el proceso de rehabilitación. Las actuaciones del equipo multidisciplinar en cada una de las etapas seguían los objetivos planteados sin perder la visión global y de futuro, estableciendo, además, complicidades con el Ayuntamiento (Patrimonio, Cultura y Educación) y otras instituciones.

La metodología seguida fue la siguiente:

1. Compartir y consensuar los objetivos propuestos con los agentes implicados.
2. Observar, preguntar, escuchar y recoger información para profundizar en el conocimiento global de la casa y el jardín. Detectar los problemas y necesidades desde las diferentes miradas transversales del equipo interdisciplinario.

3. Analizar las causas de los problemas detectados, haciendo los estudios necesarios, para elaborar un buen diagnóstico de cada uno de los problemas.

4. Proponer soluciones o mejoras innovadoras, sostenibles y participativas que deberán adaptarse en el proceso de la puesta en obra.

5. Compartir y evaluar los resultados desde diferentes perspectivas, para seguir mejorando.

El trabajo que hemos hecho y que queremos seguir haciendo, se presenta como punto de partida de otras investigaciones que nos ayuden a encontrar más soluciones innovadoras frente a los nuevos retos.

El estado de conservación del edificio, y concretamente el de las almenas antes de la intervención, era de una elevada degradación. Particularmente las almenas de coronamiento se habían desmontado totalmente por una caída de las mismas sobre la cubierta, provocando la rotura de ésta y favoreciendo la entrada de agua en el

interior de la casa, situación que aceleró la degradación del conjunto. Las almenas situadas sobre la terraza de la segunda planta, menos expuestas a las acciones del viento, se mantuvieron en su posición y se apuntalaron las que presentaban lesiones más importantes.

**“EL OBJETIVO DE LA REHABILITACIÓN ESTIMULÓ PARA BUSCAR LA SOSTENIBILIDAD Y LA EXCELENCIA EN TODO EL PROCESO”**

### INVESTIGACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El estudio de la casa Puig i Cadafalch ha incorporado un análisis detallado de las propiedades mecánicas de los materiales que componen la estructura muraria y las almenas. Dado el valor patrimonial del edificio, el análisis mecánico de los materiales ha sido realizado mediante Técnicas no Destructivas (NDT) y Técnicas Moderadamente Destructivas (MDT) con el fin de causar los mínimos daños posible durante el proceso de inspección. Para el análisis de los morteros se emplearon las técnicas llamadas "Helix Pull-out", basada en la extracción de una pequeña hélice insertada en el mortero, y "Double Punch Test", consistente en el ensayo a compresión de pequeñas muestras de juntas de mortero. El análisis de los ladrillos se realizó también mediante la técnica "Helix Pull-out" en combinación con ensayos mecánicos a compresión y flexión realizados en laboratorio sobre muestras cúbicas o prismáticas. En el caso de los ladrillos, el análisis de la resistencia a compresión se realizó según las tres dimensiones principales del ladrillo para caracterizar la posible anisotropía del material. Se realizaron 6 ensayos "Helix Pull-out" en ladrillos y 12 ensayos similares en juntas de mortero. Cada uno de estos ensayos

requiere un mínimo de 6 repeticiones para obtener un resultado estadísticamente representativo. Se realizaron 21 ensayos "Double Punch Test" sobre juntas de mortero y 18 ensayos sobre muestras de ladrillo. Los ensayos empleados han permitido caracterizar la resistencia de los diferentes materiales empleados en la construcción y en reparaciones posteriores.

### LA INTERVENCIÓN EN LAS ALMENAS COMO INNOVACIÓN

El proceso de búsqueda e investigación por parte del equipo multidisciplinario para encontrar una solución para el refuerzo de las almenas pasó, nuevamente, por una visión global y de conjunto de toda la casa, para hacer colaborar en la estabilización de las almenas no sólo a ellos mismos sino también a los otros elementos de la cubierta (que eran el objeto de la primera fase de actuaciones), dando, de este modo, más entidad y estabilidad a la actuación de refuerzo.

Analizando las diferentes zonas donde se encontraban ubicadas originalmente las almenas, así como su grado de exposición, se observó que fueron reforzadas anteriormente con soluciones que mejoraban su estabilidad pero que eran insuficientes. En este proceso de conceptualización hay

dos temas fundamentales que fueron decisivos:

- **Compatibilidad** con los materiales utilizados.
- **Durabilidad** de los materiales, buscando que fuesen estables por sí mismos en el tiempo y no introdujeran patologías que acelerasen su degradación ni pudieran ocasionar desperfectos.

Son estos dos conceptos los que durante el proceso de rehabilitación nos han hecho recorrer un largo camino hasta encontrar la solución definitiva.

En rehabilitación, utilizar los mismos materiales que los existentes es importante, ya que, el comportamiento en cuanto a rigideces y combinaciones químicas que puedan aparecer son conocidos. Por eso hemos considerado que el material más adecuado a emplear era un aglomerante de cal hidráulica bajo en arcilla, entre el 15 y el 25%.

La recuperación de la casa Puig i Cadafalch se realizará en diferentes fases, en la primera, se previó la rehabilitación de la cubierta, en la que se contempla, además de garantizar su estanqueidad, el estudio de la estabilidad frente a las acciones horizontales tanto de manera global (plano de cubierta como diafragma) como local (en el caso del vuelco de las almenas).



Ilustraciones de todo el proceso de rehabilitación

Este tipo de rehabilitaciones, atendiendo a la estructura, se concretan en incrementos de carga vertical según el nuevo uso en los forjados, que derivan en incrementos de tensiones y deformaciones; el modelado nos puede dar una aproximación abstracta a la estructura y, en cualquier caso, en estas situaciones se puede hacer un seguimiento atendiendo a deformaciones y patologías que se deriven. Pero el caso que nos ocupa es un tema de inestabilidad, es decir, un problema de colapso local por vuelco de las almenas y dado que una vez realizada la operación de rehabilitación de éstas, difícilmente se pueden verificar los movimientos que éstas hayan podido sufrir, los autores de este proyecto de rehabilitación consideramos adecuado y prudente tener en cuenta las acciones de viento que se definen en la reglamentación vigente (Código Técnico de la Edificación).

Nuestra intervención debe asegurar, y si es posible mejorar, las condiciones de estabilidad del edificio, y teniendo en cuenta que la cubierta se encontraba en condiciones precarias, se previó la sustitución de todos los elementos que la definían, proyectando una nueva cubierta que debía garantizar las condiciones de confort actuales sin deteriorar o modificar su aspecto. Por este motivo se optó por rehacerla con los mismos materiales, madera y cerámica, pero de manera que este conjunto pudiera tener un comportamiento monolítico y con la creación de este diafragma conseguir conectar todas las fachadas de manera que su estabilidad frente a las acciones horizontales se garantizara por la transmisión de los esfuerzos derivados hasta elementos que tuvieran la suficiente rigidez y estabilidad.

Es por este motivo que este techo constituido por viguetas de madera que están soportando un embaldosado de cerámica, y que son paralelas entre ellas, se han añadido unos cabios perpendiculares y unos tableros de OSB que conectados todos ellos (vigas-cabios-tableros) dan lugar al plano monolítico o diafragma que unido a las fachadas actúa como elemento estabilizador frente a las acciones horizontales. Este nuevo elemento

será capaz de minimizar las deformaciones en el frente de los muros de fachada y transmitir los esfuerzos hasta elementos que tienen la suficiente rigidez, asegurando su estabilidad y garantizando su transmisión hasta los soportes (cimientos).

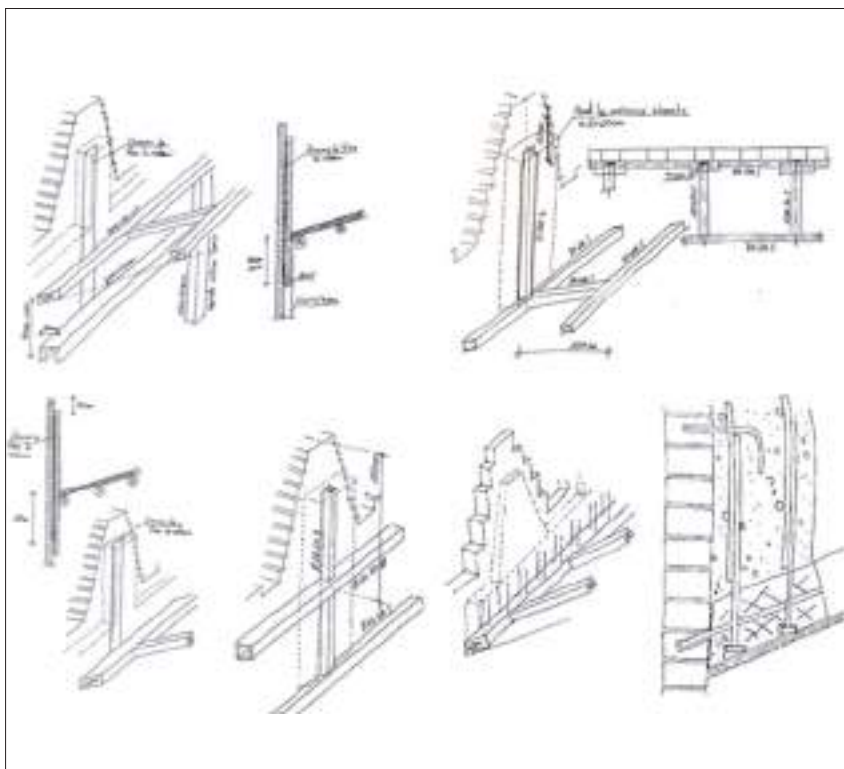
En todas las soluciones propuestas para garantizar la estabilidad de las almenas (elementos de poco peso y sección), se ha trabajado con dos modelos matemáticos estructuralmente estables sometidos a unas acciones de viento que provocan esfuerzos de flexión, que únicamente encuentran resistencia por los esfuerzos de compresión derivados de su peso propio, los cuales son insuficientes para garantizar su estabilidad; entendida con los criterios de las reglamentaciones actuales y el criterio de seguridad de elementos expuesto en la vía pública.

Los modelos matemáticos considerados en el proceso de diseño, una vez analizado el problema de estabilidad, eran dos y se detallan seguidamente:

1. Considerar los mismos empotrados en los muros del nivel inmediatamente inferior y definir una articulación con el encuentro con la cubierta.
2. Considerar una relación rígida entre almena y cubierta y una articulación con los muros inferiores.

## “NUESTRA INTERVENCIÓN DEBE ASEGURAR LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DEL EDIFICIO”

De las opciones descritas anteriormente para la estabilidad de las almenas, finalmente se consideró que la más adecuada, por su mayor facilidad constructiva, para asegurar su correc-



Soluciones desarrolladas durante el proceso de rehabilitación de la Casa Puig i Cadafalch. (Masala Consultors SLP)

ta ejecución y para conseguir la rigidez que nos da la geometría de los ángulos en los encuentros entre fachadas, era la de garantizar un empotramiento entre el plano de las almenas y el plano de la cubierta.

Para conseguir la estabilidad de las almenas y la posibilidad de obtener el comportamiento bidireccional y no incrementar significativamente la sección ni su peso, la solución consistió en introducir un elemento capaz de soportar esfuerzos a flexión en ambas direcciones, uno correspondiente al momento vertical de vuelco y el otro en el transversal, dados los importantes cambios de rigidez que se producen en todos los pliegos y encuentros de las paredes con las fachadas.

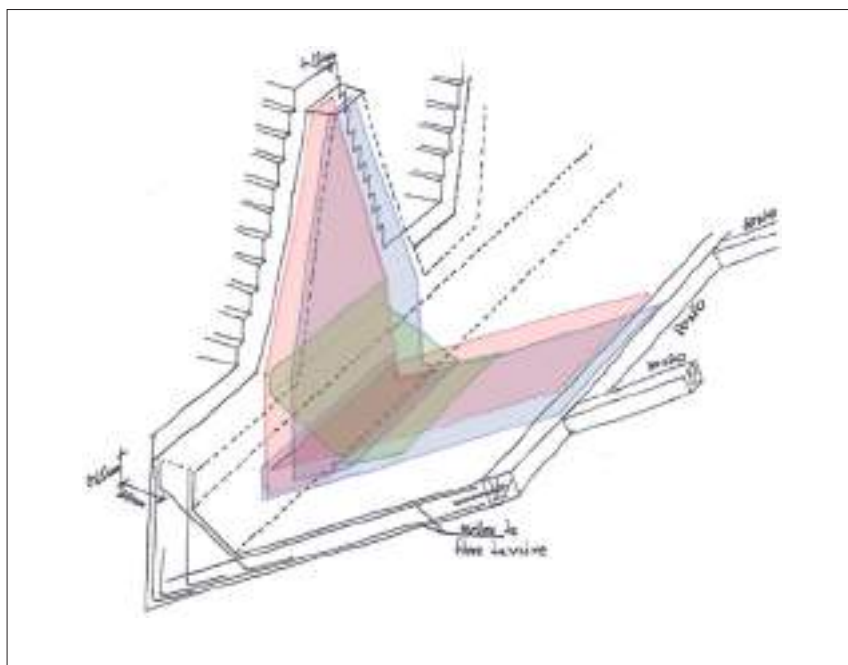
Para conseguir estos efectos, y mantener los criterios iniciales de compatibilidad y durabilidad se ha introducido un material capaz de soportar los esfuerzos de flexión en las dos direcciones, principalmente donde las almenas son más altas. Por esta razón hemos estado trabajando con hormigones donde el aglomerante es la cal hidráulica, material compatible con el resto de materiales existentes y barras o mallas de

fibra de vidrio, los elementos que han de soportar las tracciones y garantizar su durabilidad. Según hemos estado trabajando, conjuntamente con el laboratorio de materiales de la UPC, este hormigón de cal armado con fibras es compatible con los esfuerzos a los que están sometidos estas almenas.

Esta combinación del hormigón de cal armado con fibra, creemos que tiene un largo recorrido en intervenciones de rehabilitación, atendiendo a:

- Su buen comportamiento en la adherencia entre ellos.
- Su coste respecto a otros materiales (acero inoxidable, fibra de carbono, fibra de aramida, etc.).
- La rigidez y resistencia que ofrece la fibra de vidrio, resistente a los alcalinos, embebida en el hormigón de cal.

La fibra de vidrio es un material industrial compuesto de filamentos muy finos de vidrio aglomerados con resinas que, al entrelazarse dan lugar a una estructura resistente. El componente de resina hace que este material sea resistente a la erosión química del medio ambiente.



Esquema de la solución definitiva. (Masala Consultors SLP)

## EL HORMIGÓN DE CAL

El hormigón de cal ha sido el primer hormigón “romano” hasta la aparición del cemento Portland. Las mejores propiedades mecánicas de los cementos respecto de las cal o los yesos generalizaron el uso del hormigón de cemento. Sin embargo, nos parece que el hormigón de cal puede tener un papel destacado en la nueva arquitectura más comprometida en aspectos de sostenibilidad y, por supuesto, en la restauración, donde su carácter de material compatible con las edificaciones históricas es evidente.

Pero para utilizar el hormigón de cal con ciertas responsabilidades estructurales debemos re-aprender algunas cosas. Se trata de un material que comparado con el hormigón de cemento proporciona menos resistencia mecánica, mayor deformabilidad, ninguna capacidad de protección de los armados de acero convencionales, menor velocidad en el crecimiento de la resistencia, mayor porosidad, una capacidad de transferir esfuerzos de los armados al hormigón desconocidos, etc.

Algunos de estos hechos motivaron la necesidad de una campaña experimental previa para conseguir diseñar un material con suficiente fiabilidad como para ser empleado en una intervención como la que nos ocupa. Esta investigación se ha hecho en el Laboratorio de Materiales de la EPSEB.

Se ha partido de morteros de cal comercializados por la empresa Mapei, modificándolos a partir de la variación de la fracción granulométrica empleada y armándose con barras corrugadas de acero inoxidable y barras lisas de fibra de vidrio.

Se ha estudiado la resistencia a compresión y flexotracción, su evolución en el tiempo, la velocidad de carbonatación y el módulo de Young del hormigón. Uno de los puntos clave es el de la adherencia entre los elementos de armado y el propio hormigón de cal, y la propia evolución de esta adherencia.

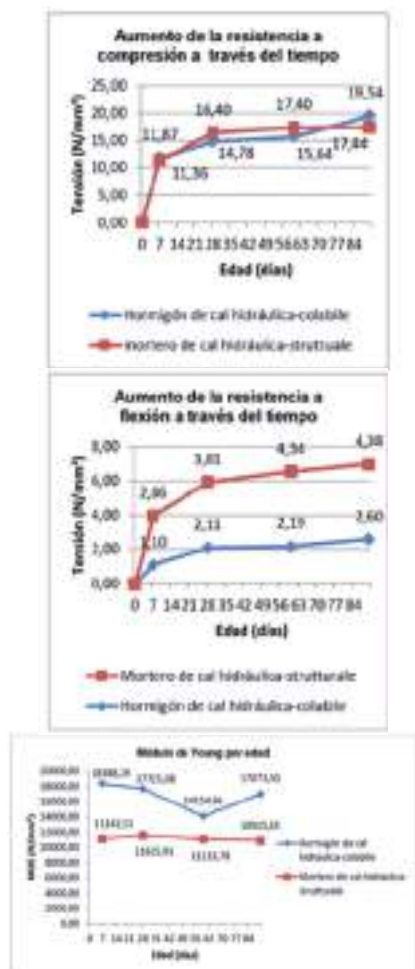
Los resultados han mostrado un magnífico comportamiento mecánico, con

valores de resistencia a compresión a 3 meses del orden de 20 MPa, mientras que la resistencia a flexotracción era de 2,6 MPa. También resulta interesante destacar que el módulo de Young se sitúa en los 17 GPa, siendo notablemente inferior al del hormigón de cemento, lo que conlleva una mayor deformabilidad por unos mismos esfuerzos mecánicos.

En resumen, los hormigones de cal armados con barras de fibra de vidrio resultan una alternativa válida para construir elementos de una cierta importancia estructural, para obras de restauración de carácter histórico, si bien hay que dimensionar correctamente los elementos en función de sus prestaciones, que son inferiores a las de los hormigones de cemento portland modernos.

A pesar de que las barras de fibra de vidrio presenten resistencias a tracción bastante elevadas (760 MPa), el hormigón sólo soportará la tensión máxima de adherencia, que en los casos estudiados fue de 7 MPa, lo que condiciona las longitudes de anclaje. Por otra parte, estos valores son muy similares a los de los pares acero-hormigón convencionales.

El hormigón de cal estudiado presenta valores de deformabilidad bastante superiores (módulos de Young de 17 GPa frente a los 20 o 25 GPa del hormigón de cemento portland) para materiales de similares resistencias a compresión, lo que resulta especialmente interesante por lo que conlleva de mayor compatibilidad con las estructuras tradicionales.



Esquema de estudio de morteros de cal. (Laboratorio de Materiales, UPC)

#### FICHA TÉCNICA

**La Casa Puig i Cadafalch, Casa-Museo** – Argentona, Barcelona (España)

**Arquitecto:** Josep Puig i Cadafalch

**Período de construcción:** 1897-1905

**Período de intervención:** 2015-2016

**Intervención de Mapei:**

Suministro de productos para la consolidación estructural de las almenas de la fachada

**Cliente:** Patrimoni Cultural

**Proyectistas:** Mercè Zazurca, Oriol Solanes y César Sánchez (Studio Mercè Zazurca), Miquel Àngel Sala, (Masala Consultors SL), Joan Ramón Rosell (Laboratori de Materials, UPC)

**Constructor principal:** Urcotex Immobiliària, SLU

**Distribuidor Mapei:** Bigmat Dorotea S.A.

**Coordinador Mapei:** Joan Lleal y Toni Catllà (Mapei Spain)

#### PRODUCTOS MAPEI

Consolidación de elementos:

MAPE-ANTIQUE COLABILE,

MAPENET EM 30 y MAPENET EM

CONNECTOR

Para obtener información acerca de estos productos visite [www.mapei.com](http://www.mapei.com) y [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

#### Arquitectos

Mercè Zazurca

Oriol Solanes

César Sánchez

Eduard Prats

#### Arquitecto Técnico y

Arqueólogo

Eduard Piriz

#### Estructuras

Miquel Àngel Sala, arquitecto

#### Asesores de Estructuras

Pere Roca, ingeniero de caminos y catedrático de la UPC

Robert Brufau, Dr. en Arquitectura.

BBG, Estructuras, Investigación y

Rehabilitación

#### Historiadores

Francesc Caballé, historiador y especialista en documentación y archivos

Reinald González, Dr. en Historia

del Arte. Profesor del Máster de

Gestión del Patrimonio Cultural de la

Universidad de Barcelona

#### Rehabilitación Jardín

Anna Zahonero, bióloga y paisajista.

Profesora del Máster de Arquitectura

del Paisaje de la UPC

#### Instalaciones

Joaquim Carbonell, ingeniero,

Cuadrante Ingeniería de

Instalaciones

#### Restauración y materiales

Joan Ramón Rosell, arquitecto

técnico, Dr. en Arquitectura Técnica y

Director del laboratorio de materiales

UPC

Antònia Navarro, Dra. en Geología

Maribel Rosselló, arquitecta técnica,

historiadora del arte, Dra. Arquitecta

por la UPC

Joaquín Montón, arquitecto técnico,

Dr. en Arquitectura Técnica por la

UPC

Joan Casadevall, arquitecto

Gabinete del Color

Núria Casadevall, restauradora

Rudi Ranesi, restaurador

Neus Zapata, restauradora

#### Colaboradores Mapei

Joan Lleal

Antoni Catllà