

# Los estudios previos de la Casa Botines de Gaudí en León

J.L. González  
A. Casals  
P. Roca  
C. Molins



1

## 1. UN PREÁMBULO SOBRE EL MÉTODO.

Son tres los criterios que determinan, en general, nuestros estudios en relación con la Restauración Arquitectónica y, en particular, los realizados sobre la Casa de los Botines de León. En primer lugar que, de los edificios históricos, es preciso preservar todo su valor arquitectónico como signo y documento, incluyendo en ello su estructura constructiva, y que para ello es imprescindible aprovechar al máximo sus propios recursos. Segundo, que precisamente el mantener sus materiales y sus elementos constructivos, es, como se ha demostrado sobradamente en los últimos

años, la mejor garantía para su conservación. Y tercero, que lograr todo ello es imposible si no se ha llegado a una cabal comprensión del monumento a restaurar, una comprensión que debe abarcar desde la realidad físico-constructiva del edificio hasta la mentalidad de la cultura arquitectónica constructiva en la que estaban inmersos sus creadores.

Pero las mayores dificultades para actuar conforme a esos criterios no provienen de la falta de conocimientos positivos sino de nuestra propia mentalidad y cultura.

Nuestra cultura tecnológica actual difícilmente es útil para la comprensión de los monumentos. La mentalidad generada por

la industrialización, la aplicación de normas pensadas para edificios todavía sin construir, o la separación entre estructura y cerramientos, entre durabilidad y estabilidad, y otras muchas fragmentaciones que han permitido evolucionar positivamente a la cultura constructiva en nuestro siglo, impiden comprender la realidad del comportamiento constructivo de los edificios del pasado.

Los edificios anteriores al siglo XX (y bastantes de éste) responden a una cultura basada en factores tan diferentes de los actuales como la decisiva presencia de los oficios artesanales, o el predominio de los sistemas de muros que responden unitariamente a los requerimientos portantes y de cerramiento, en los que son esenciales conceptos tan poco actuales como la traba o el saber-hacer de aquellos oficios.

La cultura constructiva del pasado responde a una concepción unitaria que engloba desde las partes de los edificios hasta la organización social encargada de su producción.

Si actuamos sobre un edificio del pasado es necesario utilizar un método<sup>1</sup> que neutralice, compense y reconduzca la mentalidad mediante el desarrollo de nuevas pautas de razonamiento coherente con la cultura constructiva anterior al s. XX.

El objetivo final del método no puede ser otro, por supuesto, que el conocimiento científico previo de la realidad física del edificio, que deberá incluir respuestas a las preguntas cómo es, cómo se comporta, cómo se comportará, y también como se ha comportado en su pasado histórico.

Ahora bien, se ha de recordar que es precisamente el método científico el que exige que antes de iniciarse el proceso de modelización y experimentación sistemática, se establezcan unas hipótesis previas que encaucen ordenadamente, y en una dirección precisa, todas esas actividades. Y, como todo tratado sobre la cuestión afirma, es en esta fase previa de formulación de hipótesis donde los conocimientos acumulados, la experiencia, la habilidad, la imaginación, en suma, lo que se

puede englobar bajo el término de intuición del investigador, adquieren un valor insustituible.

El método científico no deja de ser el “arte” de probar respuestas, pero sobre todo el “arte” de formular las preguntas previas.

Es precisamente en esas intuiciones donde está más presente el peligro de aplicar a los edificios antiguos una mentalidad dominada por el hormigón armado.

Para evitarlo será preciso:

1) Dar prioridad a la comprensión del edificio como una unidad total en el que el comportamiento frente a todos los requerimientos no tiene mecanismos especializados sino que es un único mecanismo que responde a todos.

2) No caer en la simplificación en que esa falta de especialidad comporta una menor heterogeneidad sino que ésta, si bien es diferente de la actual, también es un rasgo esencial de la construcción tradicional, la cual, bien lejos de producir edificios con tantas partes del mismo material, hormigón armado, fabrica artefactos en los que la multiplicidad de módulos de Young es su característica fundamental.

3) Para compensar la tendencia a la fragmentación deberán buscarse procedimientos de análisis que abarquen todas las variables, todos los objetivos y especialmente todas las escalas de percepción de los medios. Debe ser un proceso que facilite la descomposición del edificio en sus partes, hasta llegar a los materiales, pero que al tiempo obligue a una constante recomposición hasta volver a completar la unidad del edificio de manera que constantemente estén recogidas de una forma homogénea todas las escalas de percepción.

Al final del primer recorrido habremos alcanzado un primer conocimiento intuitivo-cualitativo, que incluirá diversas hipótesis sobre el comportamiento estructural, la causa de las fisuras, etc. La situación será más favorable si además hemos captado la mentalidad propia de la cultura constructiva a través de documentos que

nos han hablado de la historia concreta de nuestro edificio, o tratados o apuntes escolares que reflejan las mentalidades.

Pero quedarán infinidad de cuestiones no resueltas que sólo podremos resolver mediante una campaña sistemática de prospecciones y ensayos.

Ha llegado el momento de demostrar nuestro “arte” de formular preguntas.

Es en esta fase del proceso cuando pasará a tener protagonismo total la variada gama de procedimientos actuales de los que disponemos para desarrollar esa campaña sistemática de conocimiento científico-cuantitativo, desde la fotogrametría, la endoscopia o la tomografía por radar hasta los innumerables ensayos sobre materiales, o la termografía, la acústica o la modelización numérica por elementos finitos.

Al final, después de demostrar nuestro “arte” de probar respuestas, llegará el momento clave de demostrar nuestro “arte” de interpretarlas y reordenarlas para alcanzar la deseada comprensión del monumento, lo cual tampoco es nada fácil. El acierto ya sólo dependerá de nuestra propia capacidad.

En definitiva, sólo la comprensión certera previa, intuitiva y cuantitativa a la vez, permite imaginar intervenciones de restauración mínimas que aprovechen al máximo los recursos del propio monumento, preservando así al máximo su valor de documento y su significado. Como prueba sobre la adopción generalizada, incluso por los ingenieros, de estos criterios puede aportarse el conjunto de ponencias expuestas en la reunión de la IABSE específica sobre la intervención en el patrimonio monumental<sup>2</sup>.

Los estudios<sup>3</sup> realizados en la Casa de los Botines de León (fig. 1) constituyen un caso en el que queda patente todo ello. De entrada, por parte de la Propiedad<sup>4</sup>, ha existido una total disposición para poder realizar estos estudios sin ningún límite económico. Su rentabilidad parece indudable cuando de un edificio de Gaudí se trata, pero en este caso lo ha sido espe-

cialmente ya que gracias a estos estudios se ha pasado de una sospecha de incapacidad total del edificio para asumir con solvencia una nueva etapa de su vida a definir una estrategia de intervención ligera, que apenas varía la estructura física y conceptual del edificio, pero con plenas garantías de seguridad.

## 2. DATOS GENERALES

### 2.1 EL EDIFICIO

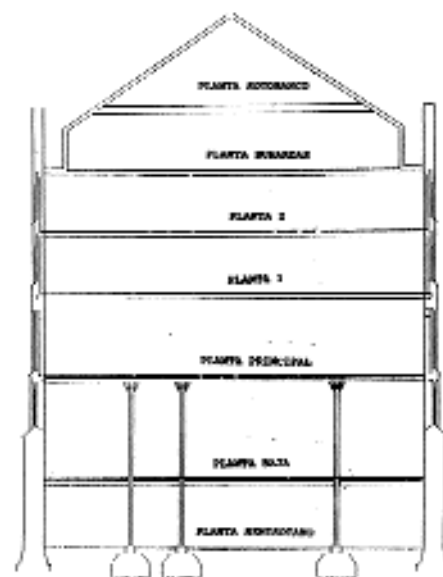
La Casa de los Botines fue construida según proyecto de Antonio Gaudí en 1892 por encargo de la familia Fernández y Andrés. El deseo de los propietarios, comerciantes de tejidos, fue disponer de dos locales diáfanos en plantas bajas para su uso comercial, la planta principal a su propia vivienda y el resto de las plantas para viviendas de renta (fig.2).

El edificio tiene una planta trapezoidal adaptada a la superficie del solar disponible. Su fachada principal, orientada al Sur, tiene, aproximadamente 28 metros, las fachadas laterales 20 y 25 m, y la posterior, debido a su posición oblicua en planta, mayor dimensión, alcanzando los 35 m.

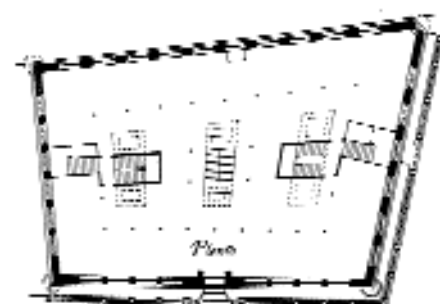
La estructura constructiva del edificio se compone del muro perimetral de fachada, de grueso variable según la altura, desde 1 metro hasta 0,45 m, formado por dos paramentos, el exterior de sillarejo de piedra caliza, de 20 a 25 cm de espesor, y el interior, de mampostería ordinaria de la misma piedra, de espesor variable. Dada la utilización de la planta baja, Gaudí no duda en abrir grandes huecos que le den el máximo de iluminación, a pesar de que los machones entre ellos adquieren una reducida dimensión; por contra, las plantas altas tienen una parte maciza de mayor extensión que los huecos.

Sobre este muro perimetral descansan los diferentes forjados del edificio. Los dos primeros resueltos mediante bóvedas tabicadas de dos gruesos apoyadas en perfiles metálicos, y el resto de las plantas superiores, con vigas de madera y revoltones de rasilla.

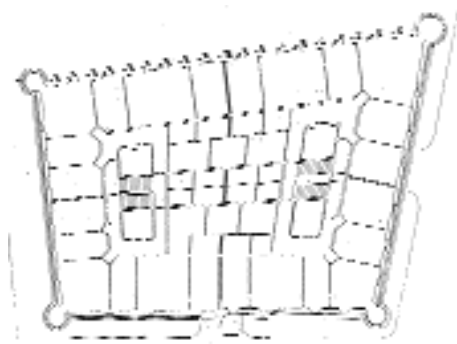
La estructura interior del edificio se com-



2



3

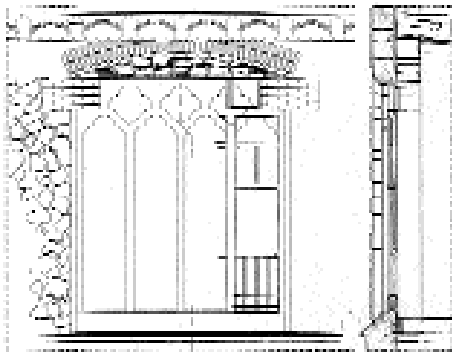


4

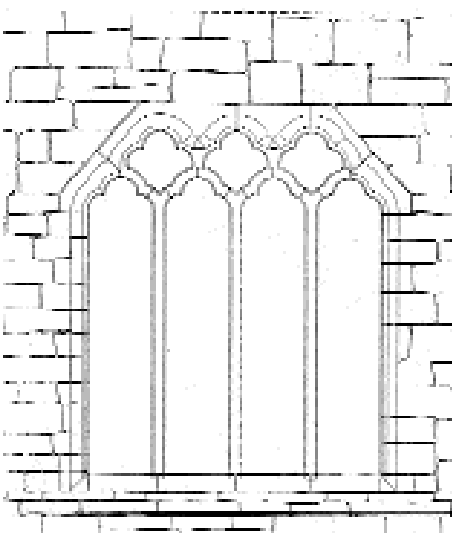
pone de, en la planta semisótano y planta baja, (fig. 3) un conjunto de pilares de fundición, que descansan en las zapatas aisladas sin ningún tipo de riostra. Sobre los pilares descansan los perfiles metálicos a través de unos capiteles de piedra. Los perfiles sirven también para soportar las paredes de media asta que resuelven la estructura interior en la planta principal y superiores. (fig. 4)

Los estudios sobre la construcción de Gaudí<sup>5</sup> y el de su contexto nos hace ver que por sus soluciones constructivas y materiales utilizados este edificio se inserta dentro de la práctica constructiva catalana en general de la época, y barcelonesa en particular, acusándose en este sentido la utilización de elementos constructivos ligeros como paredes de media asta, pilares de fundición, forjados de bóveda de rasilla, vigas de madera, junto a soluciones simples de enlace, apoyos simples, lo cual produce simultáneamente un intenso aprovechamiento resistente de los materiales y un grado elevado de isostatismo.

5



6



Es una de las obras de Gaudí menos tratada por la extensa bibliografía especializada. No existe ningún estudio que dé algo de luz sobre las intenciones del arquitecto cuando lo proyectó. Todo lo más, conjeturas sobre su goticismo o interpretaciones tópicas y erradas como que en esta obra se adelantó a Le Corbusier en relación a las plantas diáfanas. De hecho, lo único que hizo, fue una trasposición a tierras leonesas de una manera de hacer barcelonesa plasmada en innumerables edificios del casco viejo o de la derecha del ensanche de Cerdá. Sin embargo esta trasposición no fué del todo coherente con el original ya que éste siempre fue para edificios entre medianeras y no para aislados<sup>6</sup>. Gaudí toma un tipo entre medianeras ubicado siempre en una manzana, y por simple traslación y giro de la sección perpendicular a la fachada organiza un edificio aislado. La duda sobre la capacidad del edificio para asumir acciones horizontales extraordinarias parece

más que razonable<sup>7</sup>.

## 2.2 LOS ESTUDIOS

El proyecto de intervención en el edificio<sup>8</sup> tiene como objetivo adecuarlo a su nueva función de sede de la entidad propietaria pero sin alterar la estructura original, constructiva y espacial, y además, en la medida de lo posible, restituyendo al estado original, las zonas remodeladas por intervenciones en años recientes que desvirtúan por completo el sentido espacial de las dos plantas diáfanas. Es obvio que todo ello es de difícil consecución sin un conocimiento exhaustivo de las condiciones reales del edificio y sus elementos constructivos.

Los estudios previos constan de una primera parte donde se aborda el conocimiento del edificio y una segunda donde se definen las propuestas generales de intervención constructiva. La primera se organiza en cinco capítulos:

- 1) Análisis de las partes del edificio que constituyendo un elemento clave del comportamiento estructural, no son suficientemente conocidos. (fig.5 y 6).
- 2) Estudio de lesiones, daños y degradaciones que en realidad son pocos.
- 3) Ensayos realizados para caracterizar, materiales, elementos y fábricas.
- 4) Análisis estructural, subsistema a sistema.
- 5) Estudios mediante técnicas informáticas del comportamiento global de todo el edificio como suma de todos los subsistemas.

## 3. ANÁLISIS POR SUBSISTEMAS.

### 3.1 LOS MUROS DE FACHADA.

El análisis inicial del edificio permite advertir de entrada que su estabilidad a esfuerzos horizontales, por mínimos que sean, está basada en el comportamiento de los cuatro muros de fachada. La estructuración isostática de los pórticos de las plantas inferiores, la extraordinaria esbeltez y falta de arriostamientos de las paredes de ladrillo superiores, dejan ver claramente que su participación frente a empujes horizontales no puede ser más que nula; es por ello que el conocimiento



cabal del muro de fachada ha pasado a ser un objetivo prioritario.

La primera incógnita fundamental es, además de la constitución real interna o los espesores de las dos hojas, su traba y su comportamiento frente a cargas gravitatorias. La cara exterior con sillarejo bien careado, con un aparejo relativamente regular, y la cara interior de mampostería ordinaria con juntas mucho más gruesas tienen comportamientos mecánicos bien diferentes. La pregunta es sencilla de plantear: ¿realmente son dos hojas solidarias entre sí y, en consecuencia, el edificio dispone de todo el grueso del muro para su estabilidad? Si esto es importante en las plantas superiores, donde adquiere un carácter crucial es en los machones de planta baja, que con la misma composición, son los de menor sección y los que asumen mayor carga.

El método utilizado se ha basado en conocer el estado tensional de ambas caras. Los procedimientos de ensayo para averiguarlo, los denominados gatos planos (fig.6), se utilizan por lo menos desde hace más de 10 años, especialmente en Italia. Sin embargo en nuestro país son prácticamente desconocidos. Además de la tensión existente permiten obtener el módulo de deformación de la fábrica.

Se han realizado cuatro ensayos dobles (fig.7) sobre dos machones de la fachada principal, ubicando los cortes exactamente en el mismo plano de nivel, tanto en el exterior como en el interior<sup>9</sup>. Sin entrar en detalle, baste decir que los resultados han sido reveladores. La tensión de trabajo, bastante moderada, de la cara exterior es cinco veces superior a la de la cara interior, siendo ésta la que recibe todas las cargas provenientes tanto de los muros superiores como de los propios forjados, lo cual permite asegurar la total y absoluta trabazón entre las dos hojas, y considerar todo el grueso del muro desde el punto de vista del flexopandeo y la resistencia a esfuerzos producidos por acciones horizontales.

Pero, a pesar de ser la técnica de gatos

planos poco destructiva, el tamaño de los cortes a realizar impide la utilización de este ensayo en los machones de planta baja, de imprescindible análisis. Para obviar la dificultad se ha utilizado la técnica extensométrica mediante eliminación de material<sup>10</sup>, complementada por ensayos en laboratorio de las características de los sillarejos y mampuestos.

El procedimiento se basa en que un estado de tensiones que actúa sobre un material queda alterado si se elimina una parte del material. Si mediante una técnica adecuada se evalúan las relajaciones experimentales en tres direcciones cualesquiera alrededor de la zona eliminada, es posible deducir el estado de tensión inicial. En vez de requerir un corte de cierta dimensión en el tendel de las fábricas, la extracción de material sólo se reduce a un hueco de 3 cm de diámetro.

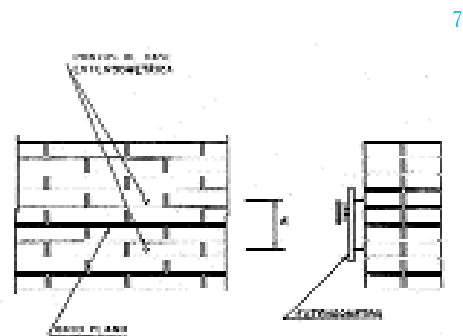
Al igual que en los tramos superiores, la parte más rígida del machón es la que asume toda la carga, llegando incluso a trabajar 10 veces más la parte exterior que la interior.

En los dos casos, los ensayos de tensión han permitido también asegurar que ésta está bastante lejos de la tensión de rotura. Por otro lado, la comparación entre las tensiones reales detectadas y las previstas en los cálculos debidas a las acciones gravitatorias existentes, es un magnífico procedimiento para la comprobación de la bondad de éstos.

En conclusión, la fábrica es solvente frente a las acciones gravitatorias. Queda por comprobarlo frente a las horizontales.

### 3.2.LAS PAREDES DE LADRILLO.

El objetivo y los métodos han sido bien diferentes respecto a los de las paredes de las fachadas. Como hecho diferenciador tenemos la sorprendente esbeltez de la pared de ladrillo, que en la planta principal es de casi 30. La aplicación de los criterios de la Norma Básica FL-90 lleva a concluir que la pared de la planta principal era insuficiente por estar sobrepasada en cinco veces su capacidad teórica. Sin embargo, no se constata en absoluto nin-



gún síntoma de agotamiento.

Esta es una situación paradójica ya constatada infinidad de veces. La aplicación estricta de la NBE convierte en colapsados muchos edificios incólumes. Y no es que la norma sea inadecuada. Sobre esta cuestión queda mucho por hacer<sup>11</sup>.

Por todo ello, el estudio de las paredes de ladrillo han tenido el objetivo prioritario de averiguar su resistencia real mediante ensayo en laboratorio de probetas extraídas de las paredes, y, por otro lado, su estado de tensiones real mediante los gatos planos.

Pero como conseguir todos estos datos supone la realización de una serie de ensayos costosos, es obligado reducir su número al mínimo indispensable. Ahora bien, es preciso tener la certeza razonable de que ese mínimo indispensable es representativo de la totalidad del conjunto de paredes de carga.

Es por ello que previamente a la realización de los ensayos se ha determinado el grado de homogeneidad de las diferentes piezas de ladrillo que se distribuyen en las paredes y, lógicamente, de los diferentes morteros, con mayor razón más susceptibles de heterogeneidad.

A tal efecto se han dispuesto dos tipos de ensayos que analizan variables diferentes y que, en su conjunto, son eficaces de cara a la comprobación de la homogeneidad. El primer grupo están basados en métodos petrográficos y mineralógicos<sup>12</sup> y el segundo basado en la medición de la resistencia a la penetración.

Los resultados permiten concluir que estamos ante una obra de fábrica típica de la época pre-industrial en que se realizó. Los ladrillos, presentan una enorme dispersión en sus características básicas, pero sólo, del orden de un 8%, no presenta el nivel de cocción mínimo exigible, y al estar repartido homogéneamente por toda la fábrica, no obliga distinguir entre diversas zonas.

Algo diferente ocurre con el mortero. Su proceso de fabricación implica una mayor dispersión de los resultados, y en este

caso además una diferenciación clara de zonas; el mortero de la planta principal tiene dosificaciones (del orden 1:5) y características resistentes inferiores al mortero de las superiores.

Si de los ensayos pasamos a la observación directa se detecta que, efectivamente, la planta principal presenta un aparejo de sogas bastante más irregular que las superiores. Es razonable suponer que, o bien los albañiles fueron mejorando su cualificación profesional con el progreso de la obra, o que se substituyó a los que la iniciaron por otros más solventes. El caso es que, como consecuencia de todo ello, ha sido necesario realizar un número algo elevado de ensayos de rotura a compresión, diferenciando la planta principal de la del resto.

Los resultados permiten concluir que las paredes de estas plantas superiores disponen de suficiente capacidad. En relación a la de la planta principal es interesante constatar lo siguiente.

Las tensiones detectadas por el gato plano coinciden casi exactamente con las previsiones supuesta la carga absolutamente repartida en el muro, y muy lejos de las tensiones indicadas por la Norma Básica como consecuencia del pandeo. Se ha de entender que la intención de la norma básica no es la de prever las tensiones sino la de prevenir sobre la falta de capacidad portante sobrante en una situación como la descrita.

Lógicamente, sí se ha comprobado que las tensiones reales son del orden de la mitad que la característica deducida de los ensayos. Por eso la pared no tiene síntomas de agotamiento. Ahora bien lo que no tiene es ninguna reserva frente la más mínima variación de sus condiciones de estabilidad. Sin duda, es una pared a reforzar pero sólo mediante la reducción de su esbeltez ya que resistencia le sobra.

### 3.3 LOS FORJADOS DE MADERA.

Los objetivos en relación a la estructura horizontal de las plantas superiores han sido dos y planteados uno a continuación del otro. En primer lugar se ha evaluado

el número de vigas cuyo estado de conservación impide por completo su utilización. Visto que no es excesiva la cantidad a substituir se ha pasado a evaluar su capacidad resistente<sup>13</sup>.

Los resultados han sido claramente positivos. Las vigas de madera en buen estado, e incluso las de estado regular pero recuperables, son sobradamente capaces de soportar las sobrecargas del nuevo uso del edificio.

Si alguna limitación cabe reseñar es que en algunas pocas zonas es previsible una flecha algo superior al 1/300, (pero inferior al 1/400), que dificultaría la utilización de nuevos tabiques de fábrica de ladrillo. Sin embargo como este supuesto nunca ha sido considerado no debe preverse como ninguna limitación.

Cabe decir que precisamente la conclusión sobre la correcta factura de los forjados es la que ha dado luz verde definitiva a la conservación absoluta de todo el conjunto constructivo.

Lógicamente quedan numerosas e interesantes cuestiones en el tintero que dejaremos para otra ocasión. Hemos de dejar espacio suficiente a la más interesante todavía parte final del trabajo.

Concluidos los estudios por subsistemas con valoraciones positivas para cada uno de ellos, es preciso pasar al último nivel del análisis en el que el objeto a estudiar es todo el sistema suma de subsistemas.

## 4. ANÁLISIS GLOBAL.

### 4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.

El levantamiento de un modelo numérico de un edificio exige una profunda interpretación previa de su funcionamiento estructural, imprescindible para evaluar las exigencias y el grado de detalle con el cual es preciso plantear la modelización, pero sobre todo para conseguir que el modelo sea realmente representativo, con las simplificaciones inevitables, del comportamiento real del original. Volviendo a ideas expuestas al principio, es en esta fase cuando más trascendentes son nuestras interpretaciones de cómo se

comportan las fábricas históricas y sus conexiones, tan diferentes en todos los aspectos de las estructuras de hormigón armado.

En este caso, esa interpretación de un modelo del edificio en su globalidad, incluye todos los elementos constructivos susceptibles de incidir en su comportamiento general. Para ello el modelo se ha construido con los cuatro muros de fachada, las paredes interiores de carga y los forjados de las plantas del edificio. Se ha buscado tener en cuenta aspectos tales como la influencia de la asimetría producida por la forma trapezoidal de la planta del edificio, la posible contribución resistente de paredes de carga interiores ante acciones horizontales, la capacidad del forjado para arriostrar eficazmente los elementos verticales exteriores e interiores, o el comportamiento de la conexión entre esquinas de muros de fachada.

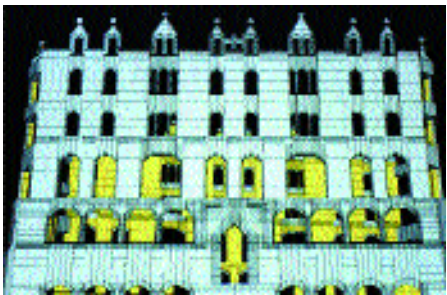
Este estudio global se ha complementado con otros estudios simplificados a nivel de fachada individual, simulando de manera aproximada las condiciones de conexión de éstas con el resto de elementos estructurales del edificio.

Para el análisis se ha decidido usar una Formulación Matricial Generalizada<sup>14</sup>, que permite tratar de forma exacta elementos lineales espaciales de directriz curva y de sección variable. Para modelizar los elementos bidimensionales de panel a cortante o de pared de carga, se han empleado sistemas equivalente de elementos lineales según se describe posteriormente. A pesar de sus limitaciones en el estudio de construcciones de fábrica, se ha admitido por sencillez la hipótesis de la elasticidad lineal como primera aproximación, válida dentro de un margen, y en el contexto de estados tensionales de intensidad moderada.

Los elementos verticales bidimensionales, incluyendo muros de fachada y paredes de carga interiores, se han tratado como sistemas equivalentes de barras mediante la técnica desarrollada por



9



10

Kwan<sup>15</sup>. Este método permite simular con gran precisión y economía de medios el comportamiento de elementos bidimensionales que trabajan como muro o panel, considerando adecuadamente su comportamiento bajo solicitaciones combinadas a compresión o tracciones bidireccionales, flexión y cortante. Además de ello, permite modelizar de forma muy realista la conexión de estos elementos con los dinteles adyacentes o antepechos entre ventanas. De esta forma ha sido posible prescindir de otros métodos más sofisticados (como elementos finitos de panel o lámina) que exigían en este caso unos recursos informáticos desproporcionados (en tiempo y memoria de ordenador). En las secciones de muro de fachada se ha distinguido entre las partes de sillarejo y de mampostería.

A pesar de reconocer que en la práctica los tabiques pudieran tener alguna función estructural, éstos no han sido integrados en el modelo por considerar que su posible contribución es poco fiable y difícilmente cuantificable.

Para reproducir el arriostramiento que producen los forjados entre elementos verticales interiores (pilares o paredes) y exteriores (muros) se ha utilizado un número limitado de elementos unidimensionales biarticulados formando un emparrillado aproximadamente ortogonal en cada planta. En las plantas baja y principal, tales elementos coinciden con ejes de perfiles metálicos entre bóvedas, definiéndose su rigidez como la de un nervio metálico individual e ignorando por seguridad la posible contribución de las bóvedas de rasilla. Análogamente, los elementos de arriostramiento introducidos en las plantas superiores representan la rigidez axial de un grupo de vigas de madera del forjado, ignorándose la posible contribución de las bovedillas de ladrillo y el entarimado.

La conexión de las fachadas en sus esquinas se ha reproducido de acuerdo con lo realmente observado en el edificio: desde el nivel sótano hasta el nivel de planta

principal existe un cosido continuo, mientras que en las plantas superiores tal conexión es puntual mediante unos robustos dinteles. En las figuras 8 y 9 se muestra el modelo construido.

#### 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

La caracterización del comportamiento estructural del edificio se ha alcanzado a través del estudio de una sucesión de casos en los cuales la participación o interrelación de los distintos subsistemas se ha introducido de manera progresiva. Se han estudiado las siguientes combinaciones de acciones:

- 1) Peso propio y sobrecarga.
- 2) Peso propio, 60 % de la sobrecarga máxima y sismo en dirección perpendicular a la fachada principal.
- 3) Peso propio, 60 % de la sobrecarga máxima y sismo en dirección paralela a la fachada principal.
- 4) Edificio reforzado bajo peso propio, 60 % de la sobrecarga máxima y sismo actuando en dirección más desfavorable.

La acción sísmica se ha valorado siguiendo la Norma Sismorresistente P.D.S.1, que asigna a León una intensidad sísmica moderada, no despreciable dada las características del edificio<sup>16</sup>.

##### a) Esquema resistente.

A través de los análisis elásticos realizados, el edificio, en su conjunto, ha mostrado tres mecanismos básicos de cuya combinación resultan las formas resistentes con las que tiende a responder ante carga gravitatoria y acciones horizontales. En primer lugar, las fachadas trabajan como emparrillado plano apoyándose en los muros perpendiculares, tanto ante cargas horizontales como ante los efectos derivados de la excentricidad de la carga gravitatoria. En ambos casos, existe un efecto de apoyo de la fachada posterior en la principal de manera que aquélla ve parte de sus efectos de flexión de emparrillado amortiguados a costa de amplificar ligeramente los de ésta.

En segundo lugar, las fachadas tienden a trabajar como pórtico ante acciones horizontales orientadas según su plano, reco-



giendo y transfiriendo a través de este mecanismo la mayor parte de las fuerzas horizontales hacia la cimentación.

Finalmente, también tanto ante acciones horizontales como ante acciones gravitatorias, aparece un comportamiento de tipo marco en sección horizontal, consecuencia de suponer que las fachadas se hallan unidas rígidamente a través de los dinteles de esquina. Este mecanismo produce fuertes flexiones en dinteles de esquina y antepechos de crujeas exteriores.

Ante acciones laterales, el conjunto de paredes de carga interiores apenas contribuye a la rigidez del conjunto puesto que, al no hallarse directamente apoyadas sobre la cimentación, pueden seguir sin apenas deformarse el movimiento general del edificio. Además, tales paredes se hallan principalmente orientadas en la dirección longitudinal (paralela a la fachada principal) en la que el sismo incidente es menos crítico.

**b) Comportamiento ante cargas gravitatorias.**

Se constata que el equilibrio de los muros de fachada ante las cargas gravitatorias es posible gracias a encontrarse arriostradas por los forjados y las fachadas contiguas. En efecto, al eliminar este apoyo e independientemente del posible pandeo de los muros, la propia excentricidad de las cargas gravitatorias aplicadas tendería a producir un estado de flexión peligroso en el conjunto de machones de planta baja. Al considerar que el apoyo entre fachadas perpendiculares es eficaz, los elementos más solicitados siguen siendo los machones de planta baja, aunque en este caso se hallan sujetos a estados de compresión compuesta admisibles para los materiales que los constituyen.

**c) Comportamiento ante acciones horizontales.**

En la configuración actual el edificio no consigue responder adecuadamente a ellas por las siguientes razones. Por una parte, los únicos planos verticales rígidos son las fachadas. No puede conside-

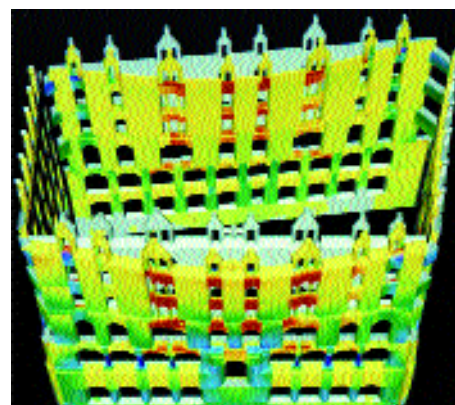
rarse que las paredes interiores de carga puedan contribuir introduciendo planos de rigidez intermedios puesto que, entre otras razones, se hallan simplemente apoyadas sobre el conjunto de pilares a nivel de planta principal, y por ello no disponen de una conexión rígida con la cimentación. Por otra parte, por su propia naturaleza constructiva, no puede esperarse que los forjados actuales constituyan un elemento rígido en su propio plano, capaz de trabajar como viga de gran canto. Sí puede admitirse, sin embargo, que puedan transmitir fuerzas horizontales entre fachadas opuestas, actuando como un simple arriostramiento.

Como consecuencia de tales deficiencias, las acciones horizontales solicitan a los muros de fachada produciéndoles sistemáticamente intensos efectos de flexión transversal, ya sea producto del trabajo local (esquema de emparrillado plano a nivel de fachada) o del trabajo conjunto (esquema de marco según secciones horizontales). En particular, los elementos más intensamente solicitados a flexión son los dinteles de esquina y los antepechos de crujeas exteriores y central, en las fachadas orientadas transversalmente a la dirección de incidencia de las fuerzas horizontales.(figs. 10 y 11)

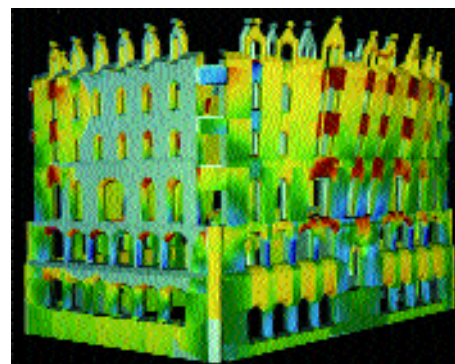
Pero también se comprueba que los muros de fachada resultan adecuados para trabajar como pórtico en su propio plano, incluso en el caso de recibir la totalidad de las fuerzas inerciales del sismo considerado.

En realidad ninguno de estos efectos es suficientemente importante para poner en peligro la seguridad global del edificio. Sin embargo como la pequeña probabilidad se multiplica por un valor en pérdidas extraordinariamente negativo, dado el valor monumental del edificio, es razonable proponer un sistema de refuerzo que en este caso no es excesivamente complejo. Se propone realizarlo mediante un sistema de rigidización

11



12



cuyo efecto básico es el de permitir la deseable transferencia de fuerzas entre fachadas minimizando sin embargo las flexiones locales de emparrillado y globales de marco.

#### d) Ideas sobre el refuerzo.

Se podría pensar en una intervención a gran escala que tuviera como finalidad formar un nuevo sistema rígido interior preparado para recibir, por sí mismo, todo el efecto del sismo. No obstante, una tal intervención sólo tendría sentido si el edificio se hallara en zonas de mayor actividad sísmica. Para el sismo moderado de León es posible imaginar intervenciones más ligeras basadas en un prudente aprovechamiento de la capacidad resistente de los elementos existentes.

La formación de un diafragma rígido en el techo de la planta segunda, coincidiendo prácticamente con la coronación de los muros, resulta extraordinariamente eficiente ante la necesidad de reducir las flexiones transversales de éstos, pues actúa impidiendo la libre deformación de su borde superior. Tras simular numéricamente esta forma de refuerzo, se ha constatado que, por sí misma, es suficiente como para asegurar el correcto comportamiento del edificio durante un sismo. Tal diafragma debe ser capaz de trabajar como viga de gran canto, atando suficientemente las cuatro fachadas entre sí.

Al simular los diafragmas, según se observa en las figuras 9 y 10, han desaparecido las flexiones de antepechos y dinteles de esquina debidas al trabajo como emparrillado o marco. Las fachadas transversales al sismo se hallan prácticamente libres de efectos de flexión inducidos por cargas horizontales, siendo muy preponderantes los efectos debidos a cargas puramente gravitatorias. Las fachadas transversales al sismo movilizan una forma de trabajo como pórtico que pueden resistir adecuadamente.

Para la materialización del diafragma en la planta segunda se propone construir un marco metálico mediante perfiles de sección angular o tubular. Este marco, total-

mente contenido en un plano, se formaría por debajo del actual forjado, requiriendo aproximadamente unos cinco centímetros de canto adicional. Estaría constituido por una estructura de celosía, cuyos elementos principales coincidirían con el esquema básico de ejes del forjado actual, más el sistema de cruces necesario para el arriostramiento de aquéllos. El arriostramiento transversal de la celosía lo proporcionaría el propio forjado.

## 5. CONCLUSIÓN.

El proyecto de rehabilitación y su realización recogen todas las anteriores recomendaciones y bastantes más no mencionadas, integrándolas con el resto de requerimientos derivados del nuevo uso del edificio. Una vez sometido a todas esas intervenciones éste seguirá siendo un documento de una cultura constructiva tal y como todos los participantes en la operación de rehabilitación se propusieron un día.

### Notas.

1. Un método apropiado es el aplicado por el Servei de Patrimoni Arquitectònic Local de la Diputació de Barcelona, dirigido por Antoni González. Véase, J.L. González, *La compresión previa de la realidad física del monumento. Una propuesta desde nuestra experiencia*, en SIMPOSIO SOBRE RESTAURACION MONUMENTAL, Barcelona, noviembre de 1993.
2. IABSE SYMPOSIUM. Estructural Preservation of the Architectural Heritage. International Association for Bridge and Structural Engineering. Roma, septiembre 1993.
3. J.L. González, A. Casals, P. Roca, A. Falcones, C. Molins, y J. Hernanz. *Estudios Previos para la Rehabilitación de la Casa Botines de León*. Departament de Construccions Arquitectòniques I. U.P.C. Barcelona. Javier Ramos Guallart, arquitecto, participó decisivamente en la definición inicial de las líneas básica del estudio.

Se han utilizado modelos numéricos y metodología general desarrollados mediante el soporte concedido por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología al proyecto "Desarrollo y ensayo de técnicas para el análisis estructural de construcciones antiguas del patrimonio arquitectónico histórico"; (SEC93-1160).

Para la realización de los cálculos numéricos se ha

dispuesto de los recursos informáticos del CIESCA, Centre de Supercomputació de Catalunya, y del Centro de Cálculo de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos C. y P. de Barcelona.

4. Caja España de Inversiones S.A.

5. El mismo equipo ha analizado otra obra singular de Gaudí. Véase A. Gonzáles, A. Casals, P. Roca, J.L. González, *Studies of Gaudí's "Cripta de la Colonia Güell"*, IABSE SYMPOSIUM, Roma 1993, y también A. Casals, J.L. González, P. Roca, *La necesaria comprensión previa de la realidad constructiva del monumento: el caso singular de la Cripta de la Colonia Güell*, en INFORMES DE LA CONSTRUCCION, nº 427, sep/oct 1993.

6. Un estudio exhaustivo de este tipo de edificio que puede documentar esta aseveración se encuentra en la tesis doctoral de Pere Giol Daprèr, *La casa de veïns el segle XIX Barcelona*, Tesis. U.P.C., Barcelona, 1995.

7. A esa conclusión también se llega si se aplican métodos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios desarrollados para permitir una aproximación rápida pero sistemática al análisis de edificios existentes. Es especialmente interesante, en este sentido, el que se expone en la monografía citada al final de la nota. El método se basa en evaluar los edificios según 11 variables tales como, la organización general del sistema portante, la resistencia de sus materiales, la calidad de los diafragmas horizontales y la distancia entre muros de arriostramiento. Según la evaluación realizada sobre los edificios del ensanche de Barcelona, muchos de ellos contemporáneos de Botines, una notable proporción de ellos se pueden considerar con un grado de vulnerabilidad entre medio-alto y alto. Si se aplica el método a Botines queda calificado entre los medio-altos.

Véase, C. Caicedo, A.H. Barbat, J.A. Canas, *Vulnerabilidad sísmica de edificios*, Monografía CIMNE IS-6 1994.

8. Sus autores son Mariano Díez Saez de Miera y Félix Compadre Díez, arquitectos.

9. Los ensayos de gatos planos y rotura de probetas de fábrica de ladrillo han estado realizados por el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX del Ministerio de Obras Públicas, T. y M.A. de Madrid.

El detalle del procedimiento de los gatos planos se puede encontrar en el artículo: Rafael Astudillo, Paloma García-Ruiz, *El ensayo de gato plano como técnica para la ascultación in-situ de obras de fábrica*, en "Ingeniería Civil", número 98, abril-junio 1995, en el que se describen los ensayos hechos en la Casa Botines.

10. Los ensayos por extensometría han sido realizados por D. Santiago Sánchez Betía, profesor titular del Departamento de Física Aplicada I de la Escuela

de Arquitectura de la Universidad del País Vasco.

11. En la actualidad, los modelos para las estructuras de paredes, o son extraordinariamente complejos por la aplicación de métodos numéricos que requieren una potente ayuda informática, o son del tipo de la veterana NBE-FL-90. Sobre la utilidad de ésta véase, Josep Lluís González, *Verificació de la seguretat estructural a les càrregues verticals. Aplicacions de les PIET 70 i l'NBE-FL-90. Comparació amb l'EC-6.*, capítulo séptimo del libro de varios autores *Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega*, Manuals de Diagnosi -4-, Col.legi d'aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, Barcelona, 1995.

Sobre los métodos informáticos véase el capítulo noveno debido a P. Roca y C. Molins *Anàlisi numèrica d'estructures de parets de càrrega. La importància de l'elecció del model.*

Sobre los avatares históricos de los procedimientos de dimensionado de las paredes véase el capítulo tercero debido a J.L. González, *L'aparició de les normatives*. La obra en su conjunto aporta una gran cantidad de ideas sobre diagnosis e intervención en estructuras de paredes de carga.

12. Los ensayos mineralógicos han sido realizados por el Grupo R&D aplicado al Patrimonio Histórico del Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universitat de Barcelona, dirigido por D. Màrius Vendrell Sanz.

13. Los análisis y ensayos de las vigas de madera han sido realizados por personal del laboratorio de la Escola Universitària Politècnica de Barcelona de la U.P.C., dirigido por D. Juan Ramon Rosell i Amigó en colaboración con los laboratorios del A.I.T.I.M. de Madrid.

14. C. Molins, P. Roca, y A. Marí, *Una Formulació Matricial Generalitzada: 1- Anàlisi estàtic*, en Revista Internacional de Mètodes Numèrics para el càlcul i disseny en enginyeria, Vol. 10, nº 4 (1994). y C. Molins, P. Roca, y A. Marí, *Una Formulació Matricial Generalitzada: 2- Anàlisi dinàmic*, en Revista Internacional de Mètodes Numèrics para el càlcul i disseny en Enginyeria, Vol. 11, nº 1 (1995).

15. Kwan, A.K.H., *Analysis for coupled wall/frame structures by frame method with shear deformation allowed*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, junio 1991.

16. En el estudio se aplicaron las acciones previstas por la PDS-1 vigente en el momento de realizarlo. Aunque no lo preveía la norma se consideró que, dada la importancia histórico-patrimonial del edificio, era razonable incrementar en un punto el nivel de riesgo. La actualmente vigente NSCE-94 convierte en obligatorio ese incremento, que puede incluso ser mayor si se exige un período de vida realmente prolongado.