

# DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS SOBRE LA PATOLOGÍA, LA IDONEIDAD ESTRUCTURAL Y DE MATERIALES DEL SEMINARIO MAYOR DE COMILLAS. CONCLUSIONES OBTENIDAS

Luis Villegas<sup>1</sup> e Ignacio Lombillo<sup>2</sup>: GTED<sup>3</sup>.

Universidad de Cantabria (UC).

<sup>1</sup>Dr. Ingeniero de Caminos y Catedrático UC ( [luis.villegas@unican.es](mailto:luis.villegas@unican.es) )

<sup>2</sup>Ingeniero de Caminos y Doctorando UC ( [ignacio.lombillo@unican.es](mailto:ignacio.lombillo@unican.es) )

<sup>3</sup>Grupo I+D de Tecnología de la Edificación - UC ( <http://grupos.unican.es/GTED> )

## 1.- INTRODUCCIÓN

El Seminario Mayor se trata de un edificio Modernista (finales s. XIX) en el que parcialmente participó el Arquitecto Lluís Domènech i Montaner (autor de entre otros edificios del Hospital Sant Pau de Barcelona, Patrimonio de la Humanidad).



*Perspectiva general del Seminario Mayor de Comillas*



*Escalera de la zona central Sur*

El edificio se articula en torno a dos claustros y a un volumen central en el que se ubican los elementos arquitectónicos y artísticos de mayor calidad, la iglesia, el hall de entrada, la sacristía y el paraninfo



*Paraninfo*



*Perspectiva general de la iglesia*

El edificio ocupa una superficie rectangular aproximada de 100 m x 65 m, con dos patios interiores de unas dimensiones aproximadas de 35 m x 25 m, flanqueando una iglesia que

ocupa el centro de la edificación. El edificio consta de planta baja y tres alturas con dos castilletes laterales recrecidos en las esquinas de la fachada de entrada principal y uno situado encima de dicha entrada. En la fachada puede observarse como el muro es de mampostería recibida con mortero con pilares/contrafuertes de ladrillo macizo. En ocasiones se observa como la fachada de mampostería se encuentra enmarcada con un “pórtico” de sillares de distinto material, que en algunos casos se sustituyen a partir de cierta altura por ladrillo macizo revestido.



*Abovedado de la iglesia*



*Trasdós del abovedado, detalle de la escalera de caracol y del nudo tridimensional de la cubierta en la zona del ábside*

Los estudios previos que se resumen han sido llevados a cabo por un equipo multidisciplinar compuesto por Grupos de Investigación de la Universidad de Cantabria (GTED y LADICIM) y varias PYMES de la región (Estudio de Ingeniería DYNAMIS S.L., CHEMPRO S.L., MONTAÑESA DE DESINFECCIÓN S.L. y TRIAX S.A.), siendo el coordinador de los mismos el Grupo de Tecnología de la Edificación (GTED) adscrito al Dpto. de Ingeniería Estructural y Mecánica de la Universidad referida. Como puede comprobarse aglutinan diferentes áreas de conocimiento otorgando al estudio la multidisciplinaridad necesaria para acometerlos desde diversos puntos de vista y de esa forma enriquecer los contenidos con puntualizaciones propias de las diversas facetas involucradas.

De todos los trabajos desarrollados, en lo que sigue, se va a realizar una exposición general de los mismos deteniéndose en los realizados íntegramente por el Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria.

## **2.- REALIZACIÓN DE CATAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA Y ORGANIZACIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

Con la finalidad expuesta se ha procedido a realizar una serie de catas en lugares estratégicos. Para cada una de éstas se realizó una ficha en la que se incluye su localización dentro del edificio, tanto en planta como en alzado, fotografías de situación y de detalle, croquis con su geometría y dimensiones, y una descripción escrita de la misma.

Las catas han permitido un conocimiento profundo de las principales características constructivas del edificio y de algunos procesos patológicos existentes; por ejemplo, apoyo insuficiente de las viguetas de madera en las vigas de carga y otros que se recogerán en el siguiente apartado.

CATAS Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS EN PLANTA BAJA.	
<b>CATA B2/2-2'</b>	
CROQUIS Y FOTOGRAFÍA DE SITUACIÓN	
FOTOGRAFÍA DE CATA / ELEMENTO CONSTRUCTIVO	

CROQUIS DEL DETALLE CONSTRUCTIVO	
DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA	
<p>La cata corresponde al forjado de planta baja de la cruja 2-2'.</p> <p>En las imágenes anteriores puede observarse que se trata de una bóveda de cañón a la catalana compuesta por piezas cerámicas macizas aparejadas con mortero de cal. Al igual que se comprobó en la cata B2/2-2' las diferentes piezas no están dispuestas a matajunta a nivel de cada rosca, circunstancia que como ya se ha apuntado resta rigidez al elemento estructural.</p> <p>Con la finalidad de conocer el espesor de dicho forjado se han realizado dos perforaciones, una dispuesta, sensiblemente, en clave de bóveda obteniendo un espesor de 19 cm, y otra hacia la zona de riñones midiendo en esta situación un espesor de 17 cm. Como los ladrillos tienen un espesor que ronda en la mayoría de los casos los 4 cm, y dado los espesores aludidos se cree que lo más probable es que la bóveda esté compuesta por tres rosca de ladrillo cerámico y capas de mortero entre ellas, ya que cuatro rosca parecen ir muy justas para el espesor de 17 cm medido, si bien en la zona de clave encaja una modulación de cuatro rosca y juntas de mortero entre ellas de 1 cm de grosor (para dar un total de 19 cm). Si bien como ya se ha comentado se cree que lo más razonable pueden ser tres rosca de ladrillo macizo.</p> <p>En las fotografías anteriores se adivina la curvatura de la bóveda, la cual queda ocultada en la zona de senos por los rellenos y la suciedad existente. Del mismo modo en las imágenes anteriores puede observarse como se materializa el apoyo de la solera del forjado, resuelta mediante enrastrelado de reparto y un entarimado superior, en la bóveda a la catalana. Dicha transmisión de cargas se realiza mediante tacos y cuñas de madera que permiten el apoyo de los rastreles sobre la bóveda referida.</p> <p>Se le considera un elemento arquitectónico característico a conservar y a potenciar en la futura rehabilitación del inmueble.</p>	

*Ejemplo de ficha descriptiva, concretamente del forjado de planta baja de la cruja más al Este*

CATAS EN EL FORJADO DE TECHO DEL PARANINFO	
<b>CATA TECHO-1</b>	
CROQUIS Y FOTOGRAFÍA DE SITUACIÓN	
FOTOGRAFÍA DE CATA / ELEMENTO CONSTRUCTIVO	

CROQUIS DEL DETALLE CONSTRUCTIVO	
DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA	
<p>El forjado de techo del paraninfo está compuesto por dos jácnas de carga a modo de celosías de madera, las cuáles presentan dos escuadrías tanto en su cordón superior como en su cordón inferior y diagonales también de madera unidas mediante barras roscadas entre sí y a los cordones referidos, dicha disposición constructiva puede apreciarse en los croquis presentados con anterioridad y en las fotos que adjuntadas.</p> <p>Entre los muros de carga laterales (Este y Oeste) y dichas vigas en celosía de madera se tienden los solivos que apoyados en la cara superior del cordón inferior de las jácnas de carga permiten dar soporte el tillado y artesonado subyacente. Por su parte apoyados en los muros Norte y Sur y en los olivos referidos se distribuyen otro plano de solivos que además de su función estructural cumplen la funcionalidad de rastreles para la tarima de pino tea que constituye el pavimento superior.</p> <p>El forjado de techo del paraninfo presenta unas deformaciones apreciables. Aludir a que existe un riesgo serio de colapso estructural de dicho forjado, por lo que se recomienda proceder a su apeo, así como de los muros asociados, previamente a la ejecución de ningún trabajo de rehabilitación.</p>	

*Ejemplo de ficha descriptiva, concretamente del forjado de techo del paraninfo*

De la misma forma también se realizó una inspección del aljibe existente en el claustro E. Para ello, y debido a sus características especiales de espacio confinado, se creyó conveniente conocer la calidad y características de la atmósfera existente para garantizar la seguridad y salud de los técnicos que debían de inspeccionarlo. Se procedió a la medición de la concentración de oxígeno, de monóxido de carbono, dióxido de carbono y de determinados gases inflamables con la finalidad de valorar el potencial explosivo de la atmósfera existente.

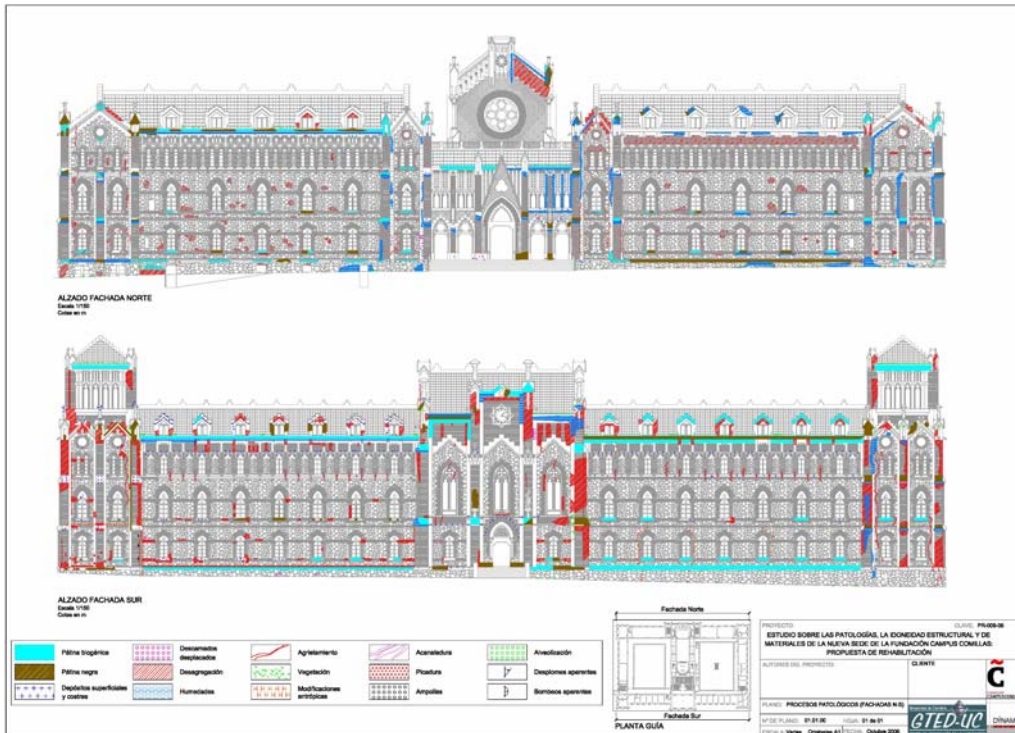


*Detalles de la inspección realizada en el aljibe existente en el claustro Este*

El aljibe esta compuesto por dos recintos separados por un tabique intermedio y tiene una superficie interior total de 204,5 m<sup>2</sup>. La estructura del mismo se compone a base de pilares cuadrados de 49 cm de lado que reciben las cargas de las bóvedas de cubierta.

### **3.- ESTUDIO DE LOS PROCESOS PATOLÓGICOS PRESENTES: RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN**

Se llevó a cabo un registro sistemático de los diferentes defectos y anomalías hallados en los muros del Seminario Mayor, tanto en las cuatro fachadas exteriores como en los muros N, S y W relativos al claustro Oeste, y en el muro W relativo al claustro Este.



*Levantamiento de procesos patológicos de la fachada Norte (arriba) y de la fachada Sur (abajo) del Seminario Mayor de Comillas.*

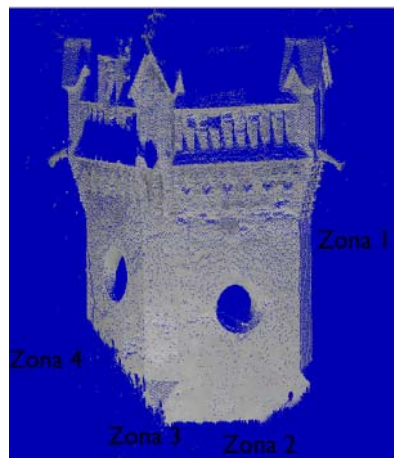
El proceso seguido para la realización de dichos trabajos fue la realización de una inspección visual pormenorizada. Con la información obtenida se realizó un levantamiento de los procesos patológicos asociados. Del mismo modo se adjuntaron las fotografías de detalle de cada proceso patológico así como su localización dentro del muro correspondiente. Finalmente, se adjuntó en forma de ficha una descripción de cada uno de las lesiones, así como las causas achacables más probables relacionadas.

Además, de los procesos patológicos sobre los muros aludidos, también se realizó un estudio orientado a las lesiones más comunes detectadas en las crujías perimetrales a los claustros, en la torre SW y otros procesos patológicos de carácter puntual y de bastante importancia localizados durante las visitas de inspección.

Un resumen de los defectos se compendia a continuación:

- Pátinas (capas o películas delgadas) biogénicas y negras (de suciedad o enmugrecimiento) en numerosas partes de los muros.
- Existen depósitos superficiales (acumulaciones de materiales) y costras (láminas o cortezas de material coherente) en diferentes zonas.
- Descamación o exfoliación de láminas o películas superficiales que se desprenden del sustrato.
- Ampollas por abombamiento de las costras o escamas.
- Alveolización (erosión alveolar o meteorización en panal)
- Desagregación que conlleva la descohesión de las partículas de la piedra y del ladrillo.
- Desplacados, acanaladuras y picaduras.
- Agrietamientos.
- Presencia de plantas superiores.
- Modificaciones antrópicas (intervenciones humanas desacertadas).

De la misma forma se propusieron recomendaciones de actuación (terapéutica) que permiten corregir los defectos señalados previamente. A su vez, como apoyo del proceso deductivo desarrollado fue necesario realizar un levantamiento mediante láser escáner 3D de determinados elementos constructivos (fundamentalmente en la torre del reloj y fachada sur).

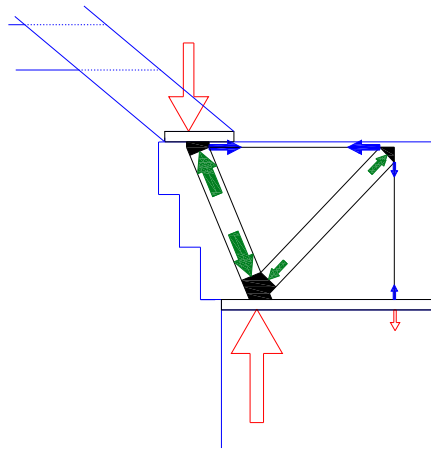


*Imágenes referentes a los trabajos desarrollados con láser escáner 3D. Cortesía Gim Geomatics.*

En lo que sigue se relacionan los procesos patológicos más graves en lo que respecta a la estabilidad del inmueble.

### 3.1.- Apoyo excéntrico de las cerchas en los muros de las crujiás perimetrales a los claustros

En relación a este proceso cabe aludir a que se han detectado agrietamientos generalizados en todas las crujiás motivados por dicho apoyo excéntrico (cuyo diseño estructural se considera poco afortunado) y agravados por el corte del atirantado transversal, acaecido en un momento de su historia, que ha roto la enlazabilidad y arriostramiento necesarios en la estructura. Debido a las deformaciones asociadas al esquema estructural del apoyo excéntrico de la cubierta en la obra de fábrica se han producido agrietamientos sensiblemente verticales y con amplitud máxima en la parte superior. Dicho patrón de agrietamiento se repite sistemáticamente en todas los paños bajo cubierta de los muros de fábrica marcándose perfectamente en la tabiquería existente. Además dichos agrietamientos también se manifiestan en el paño de muro inferior (entre plantas 2ª y 3ª). Dicho proceso patológico está asociado a la falta de contrarresto de la acción horizontal originada por el apoyo excéntrico de la cubierta y de las tracciones asociadas al tirante horizontal superior del modelo de bielas, tirantes y nudos que se adjunta.



*Esquema general del apoyo excéntrico de una cercha de cubierta en el muro de fábrica subyacente*

Caso de no centrar las cargas en el muro de carga subyacente es necesario materializar dicho arriostramiento horizontal mediante un elemento de acero a la altura de cada una de las cerchas, de forma análoga a como existían en su día. Se recomienda, no obstante, diseñar un apoyo centrado de la nueva cubierta en los muros de carga existentes.

### 3.2.- Procesos patológicos relacionados con los forjados de madera

La excesiva deformación de los forjados conduce a agrietamientos inclinados que forman arcos de descarga. Asimismo, aludir a la mala solución constructiva materializada en general en los forjados, en tanto que con la finalidad constructiva de realizarlos con el menor canto posible, toda la carga transmitida por las viguetas a las jácenas de carga se realiza a través de un apoyo indirecto en un listón de madera clavado a la viga de carga mediante puntas de encabriar dispuestas aproximadamente cada 40 cm. Dichos elementos, trabajando a corte, son insuficientes para resistir las cargas futuras y más teniendo en cuenta el efecto de mellado que podría ocasionarse en la madera. Por otro lado, debido a las deformaciones existentes en las jácenas de carga (como ya se ha indicado causa de diferentes lesiones) y en base a los cálculos realizados, puede concluirse que las secciones de madera estructural existentes son insuficientes para cumplir tanto los estados límites de servicio como los estados límites últimos. Además, varios elementos de madera están afectados por ataque biótico asociado a xilófagos e insectos sociales (térmitas).

### 3.3.- Procesos patológicos relacionados con el entronque excéntrico del “prisma de coronación retranqueado” respecto al cuerpo de las torres SE y SW

En el plano de entronque del “prisma” con el cuerpo de las torres referidas existen fenómenos locales asociados a la acción del apoyo excéntrico del prisma que generan esfuerzos importantes de tracción en el muro de fábrica que por otro lado son la causa de parte de los procesos patológicos existentes en dicha torre. Esto genera mecanismos de transmisión excéntrica de las cargas poco favorables y que tienden a “abrir y desplomar” los muros de carga principales y es fuente de los daños que aparecen en estas torres W y E (que han llevado a apuntalar la citada en primer lugar). Así, existen zonas localizadas en la coronación de la torre y en el plano de maclado del “prisma de coronación” en el cuerpo inferior, en que debido a las acciones excéntricas que se transmiten a los muros de carga, se generen esfuerzos de tracción, especialmente importantes en el entronque del prisma en el cuerpo de la torre.

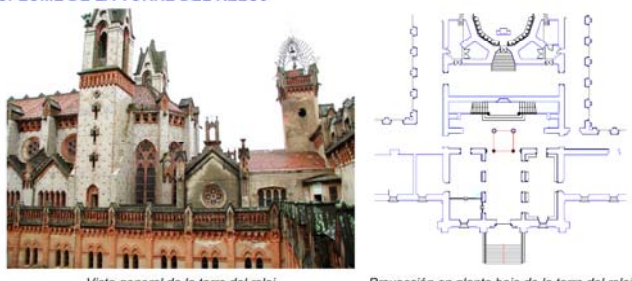
En la actualidad se presentan agrietamientos, tanto exteriores como interiores (sobretudo en la torre SW): En los cargaderos de huecos próximos a esquinas, y otros que marcan un movimiento hacia fuera de uno de los muros de la torre y que se manifiestan en los perpendiculares. Dichos fenómenos tienen mayores amplitudes a medida que se aproximan al entronque del prisma de coronación con el cuerpo de la torre.

### 3.4.- Desplome de la torre del reloj

La torre del reloj se encuentra en el cuerpo central del edificio, a uno de los lados de la escalinata principal.

**OTROS PROCESOS PATOLÓGICOS.**

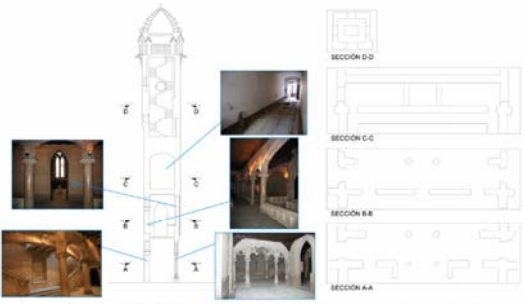
**DESPLOME DE LA TORRE DEL RELOJ**



Vista general de la torre del reloj      Proyección en planta baja de la torre del reloj

**COMENTARIOS**

La torre del reloj se encuentra en el cuerpo central del edificio, a uno de los lados de la escalinata principal. Sus muros Norte y Sur, en el nivel de maclado con el volumen inferior, descansan directamente en los muros de carga de dicho volumen, mientras que los muros Este y Oeste descargan sobre el volumen inferior mediante sendos arcos dispuestos debajo de cada uno, circunstancia que motiva concentraciones de carga puntuales y esfuerzos horizontales que hay que compensar mediante la resistencia a cortante de la unión, función de la traba existente y el peso que gravita sobre dicho plano.



Alzado de la torre del reloj, junto con un detalle de diferentes secciones de la misma

Entre los forjados de 2ª y 3ª planta, una vez llevadas las cargas a los muros del volumen inferior, estas se transmiten a niveles inferiores, mientras se abren, afectando a mayor longitud de muro a medida que descienden.

Entre los forjados de 2ª y 1ª planta mientras en el lado Sur de la torre las cargas se transfieren a niveles inferiores a través del muro de carga existente (muro Norte del paraninfo), que aunque con huecos permite

una mayor dilución de la carga en niveles inferiores, en el lado Norte de la torre las cargas tienden a concentrarse en dos pilares pétreos a través de arcos rebajados que motivan esfuerzos horizontales en los muros Este y Oeste de la caja de escaleras. Finalmente entre el forjado de planta 1ª y el de planta baja, en el lado sur de la torre las cargas, bastante abiertas, se comunican al terreno mediante cuatro pilares de poca sección y parte de los muros de carga, y en el lado norte las cargas se concentran bastante en dos zonas puntuales del terreno pues las cargas del nivel superior se pasan al nivel inferior mediante dos pilares continuación de los de la planta superior.

Se ha llevado a cabo un análisis del desplome de la torre mediante láser escáner, tomándose medidas desde la terraza del claustro oeste. Para determinar si hay desplome se han realizado 15 secciones en un intervalo de 2,25 m. de altura. De este estudio se obtiene que la torre del reloj tiene un desplome medio en la altura referida de entorno a 5 cm. (aproximadamente 2,20 cm/m de desplome), valor por otro lado nada desdeñable.

Los desplomes detectados sugirieron la necesidad de analizar en profundidad las causas que motivaron dicho proceso patológico. En este sentido la causa más factible es que el desplome se deba a una integral de giros en el alzado de la torre asociados a descensos diferenciales entre su zona Sur y su zona Norte. Dichos descensos se achacan a dos causas, principalmente a un asiento diferencial en cimentación del lado Norte respecto del lado Sur dada la mayor concentración de cargas en cimentación en el lado Norte, y de forma secundaria a un descenso de la clave de los arcos existentes en planta 1ª asociado a una falta de contrarresto lateral de los empujes que motivan a los muros Este y Oeste del cajón de la escalera.

El efecto que produce la falta de contrarresto horizontal en la arcada de la subida principal, son descensos en clave y desplazamientos horizontales en los arranques de los arcos que producirían un asentamiento relativo del lado Norte de la torre del reloj respecto del lado Sur. Parece ser que dicha problemática fue detectada en épocas pasadas porque en la campaña de catas se han detectado la colocación de tres tirantes que atan los muros Este y Oeste de la caja de escaleras y que a pesar de no estar colocados en los puntos de máxima eficacia, para no dañar la integridad estética de las dependencias que atravesarían, tratan de ofrecer el contrarresto horizontal necesario que se viene aludiendo.



El efecto de desplome de la torre del reloj en planta baja queda asociado al posible asiento diferencial producido en la cimentación de la arcada sobre la que descansa la cara Norte de la torre debido a una mayor concentración tensional que en la cara Sur. Dicha consideración se demuestra en el anejo A4, por lo que se remite al lector a dicho apartado para mayor información.

Además se cree conveniente aludir a que pudiera ser que en esta zona central de influencia de las cargas de la torre del reloj pudieran localizarse apoyos de la cimentación, tanto de los pilares como de los muros interiores, no directamente sobre el sustrato calcáreo, sino que quede apoyada sobre el eluvial de alteración, de consistencia media-dura (tal y como se comprobó que ocurría en la calicata C-9 de la campaña de calicatas realizada, y que se recoge en el anejo geotécnico A5). En esta situación y dada la mayor deformabilidad del eluvial de alteración que el sustrato calcáreo subyacente se favorecería el desarrollo de asientos diferenciales entre la cimentación de la parte más al Norte de la torre del reloj, de la situada más al Sur.

*Ejemplo de ficha descriptiva del proceso patológico relacionado con el desplome detectado en la torre del reloj*

En el nivel de maclado con el volumen inferior, sus muros Norte y Sur descansan directamente en los muros de carga de dicho volumen, mientras que los muros Este y Oeste descargan en él mediante sendos arcos dispuestos debajo de cada uno (en el nivel entre 2ª y 3ª planta), circunstancia que motiva concentraciones de carga puntuales y esfuerzos

horizontales que se compensan mediante la resistencia a cortante de la unión y el contrarresto de los empujes asociados a los apoyos. Una vez llevadas las cargas a los muros del volumen inferior, estas se transmiten a niveles subyacentes mientras se abren, afectando a mayor longitud de muro, a medida que descienden. En el lado Sur de la torre las cargas se transfieren a niveles inferiores a través del muro de carga existente (muro Norte del paraninfo), que aunque con huecos permite una mayor dilución de la carga en los citados niveles. En el lado Norte de la torre las cargas tienden a concentrarse en dos pilares pétreos a través de arcos rebajados que motivan esfuerzos horizontales en los muros Este y Oeste de la caja de escaleras. Finalmente, en el nivel de planta baja, en el lado sur de la torre las cargas, bastante abiertas, se comunican al terreno mediante cuatro pilares de poca sección y parte de los muros de carga, y en el lado norte las cargas se concentran bastante en dos zonas puntuales del terreno pues las cargas del nivel superior se pasan al nivel inferior mediante dos pilares continuación de los de la planta superior.

Dado que a simple vista parecía detectarse cierto desplome de la torre, se llevó a cabo un análisis del hipotético movimiento mediante láser escáner tridimensional. De dicho estudio se concretó que existe un desplome medio de 2,20 cm/m en la zona analizada (en total 5 cm en una longitud de 2,25 m).

La causa más factible es que el desplome se deba a una integral de giros en el alzado de la torre asociados a descensos diferenciales entre su zona Sur y su zona Norte. Dichos descensos se achacan a dos causas, principalmente a un asiento diferencial en cimentación del lado Norte respecto del lado Sur dada la mayor concentración de cargas en cimentación en el lado septentrional, y de forma secundaria a un descenso de la clave de los arcos existentes en planta 1ª, asociado a una falta de contrarresto lateral de los empujes que inciden en los muros Este y Oeste del cajón de la escalera.

En relación con la falta de contrarresto horizontal en la arcada de la subida principal, parece ser que dicha problemática fue detectada en épocas pasadas porque en la campaña de catas se han descubierto la colocación de tres tirantes que atan los muros Este y Oeste de la caja de escaleras que tratan de ofrecer el contrarresto horizontal necesario que se viene aludiendo.

En relación al posible asiento diferencial producido en la cimentación de la arcada sobre la que descansa la cara Norte de la torre (debido a una mayor concentración tensional que en la cara Sur) se cree conveniente aludir a que pudiera ser que en esta zona central de influencia de las cargas de la torre del reloj se localizasen apoyos de la cimentación (tanto de los pilares como de los muros interiores) no directamente sobre el sustrato calcáreo, sino que queden sustentadas sobre el eluvial de alteración, de consistencia media-dura (tal y como se comprobó que ocurría en la calicata C-9 de la campaña de geotécnica realizada). En esta situación y dada la mayor deformabilidad del citado eluvial que el sustrato subyacente se favorecería el desarrollo de los referidos asientos diferenciales. También, contribuiría a favorecer el fenómeno el posible reblandecimiento de las capas de apoyo dada la problemática de humedades de capilaridad detectada en la zona de influencia de las cimentaciones referidas. Por tanto, se cree conveniente que a la hora de la reestructuración de esta zona se inspeccionen las cimentaciones de las columnas centrales que soportan el muro Norte de la citada torre.

### **3.5.- Procesos patológicos en la zona del paraninfo**

En la zona central sur, en torno al espacio arquitectónico denominado como paraninfo, se han detectado varios procesos patológicos de gravedad, a continuación se hace una referencia los mismos:

Se observan **flechas excesivas** en el forjado del techo del paraninfo debidas a la gran luz existente y a que solamente hay dispuestos dos elementos portantes a modo de vigas en

celosía de madera. Además, sobre estas jácenas existen cargas (debidas a los elementos de acceso a la zona residual de cubierta sobre el paraninfo) que favorecen la existencia de dichas flechas. Por otro lado aludir a que debido a las luces existentes y los reducidos elementos portantes principales los esfuerzos que se motivan en las jácenas de carga son importantes. Asociado con lo anterior se ha observado un fallo del cordón superior de las vigas en celosía de madera que trabajando a compresión ha sufrido una inestabilidad quedando sometido a pandeo lateral (daño especialmente grave por su carácter de posible rotura o colapso frágil, sin previo aviso).

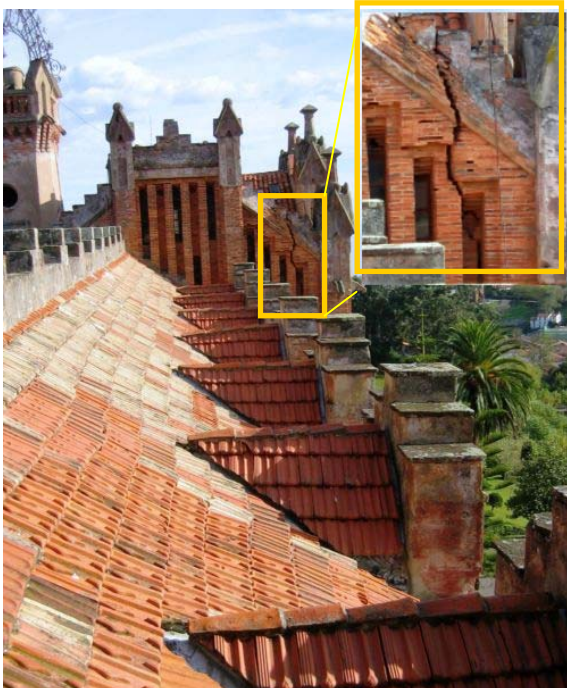


*Detalle de la viga en celosía que conforma las jácenas de carga*

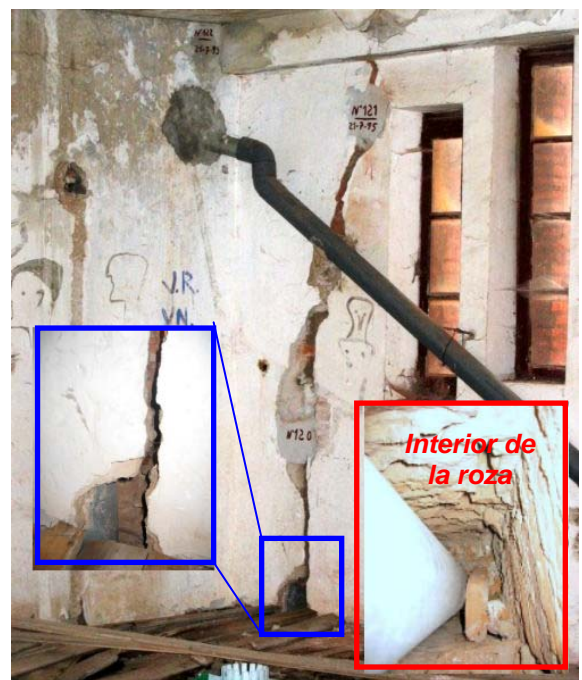


*Pandeo lateral del cordón superior a compresión de una de las dos jácenas de carga*

Existen, asimismo, **agrietamientos en los laterales de la fachada principal** del edificio (fachada sur-oeste y fachada sur-este). En la sur-oeste se observa a simple vista un agrietamiento de amplitud muy importante y grave (del orden de 6 cm y que atraviesa el muro lateral seccionando el mismo): La fachada principal central está suelta en su zona superior sin arriostrar y desplomada hacia el exterior.



*Vista general a la grieta de fachada Sur-Oeste desde la torre Oeste.*



*Detalle interior de la grieta de fachada Sur-Oeste. Puede apreciarse la tubería alojada en la sección del muro*

El proceso deductivo seguido ha llevado a concluir que la causa principal está asociada a la rotura por el plano de mayor debilidad de los muros perpendiculares a la fachada Sur ante las succiones de viento a que se ve sometida la misma en su zona central, ya que dada la configuración actual del edificio la mayor parte de los esfuerzos de tracción generados han de transmitirse a dichos muros de arriostramiento. Además, la sección de unión de ambos muros está bastante debilitada, en tanto que además de las ventanas existentes en los laterales se ha comprobado que en las proximidades de las esquinas hay empotradas sendas bajantes. La presencia de estas bajantes en una zona de encuentro entre dos muros de fachada (esquinas sur-oeste y sur-este de la zona central Sur) implica un debilitamiento importante de la unión asociado a una reducción importante del espesor efectivo de la misma.

En base a los procesos patológicos referidos, la zona central sur presenta un riesgo latente de “posible colapso”, por lo que se recomienda proceder a su refuerzo, previo apuntalamiento y andamiaje total tanto del forjado de referencia como de los muros de carga involucrados, para evitar males mayores.

### **3.6.- Procesos patológicos en la fachada Norte.**

En relación a la zona central Norte (acceso a la iglesia) aludir a que se han observado agrietamientos que aumentan en amplitud a medida que se va ganando altura. En la planta baja dichas fisuras afectan a las bóvedas existentes y a los muros sobre los que se apoyan, asociando a las flechas excesivas que presenta el forjado de planta primera como la causa más presumible. Dichas deformaciones están motivadas por las sobrecargas que suponen los tabiques situados por encima del de planta 1ª y por el peso del órgano. A nivel del forjado de terraza, dada la naturaleza de la cubierta, existen esfuerzos horizontales sin contrarrestar que pueden motivar los agrietamientos referidos. Se recomienda arriostrar los muros de forma adecuada y modificar el esquema estructural de la cubierta.

Existen, asimismo, procesos patológicos asociados a succiones del viento y empujes horizontales sin contrarrestar en los cuerpos de escalera anejos a la iglesia en fachada norte. Por un lado, se observan agrietamientos importantes en los muros laterales. Tras hacer tres catas y remover el revoco se comprueba también que dichas grietas tienen una gran amplitud y profundidad, incluso en algún caso son pasantes en todo el espesor del muro.

La causa de este agrietamiento está asociada a la acción de esfuerzos de carácter horizontal, fundamentalmente succiones del viento y esfuerzos horizontales de las bóvedas de las escaleras (la mayor parte de las cargas asociadas con éstas se transmiten a los muros laterales de las cajas de escaleras por las bóvedas a la catalana de los descansillos). Del mismo modo, también se asocia a la mala traba existente entre el muro de fachada norte y los muros perpendiculares, lo que motiva que frente a la acción de las cargas horizontales referidas se generen agrietamientos, de amplitud creciente con la altura, donde las tracciones producidas por la succión del viento son mayores (en tanto que los contrafuertes exteriores que existen en tal fachada no alcanzan la parte superior más solicitada).

Todas las causas referidas motivan que la unión rompa en el plano de mayor debilidad (aquel en que se presenta una mayor continuidad en llagas sucesivas), contorneando los mampuestos.

Por otro lado, se observan agrietamientos longitudinales entre el muro de fachada Norte y los descansillos abovedados de la escalera. Es otra causa aparente de dicho movimiento hacia el exterior del muro de fachada Norte de los cajones de escaleras.

Recapitulando, debido a los esfuerzos horizontales existentes y a la mala traba se han producido movimientos hacia el exterior de los muros de fachada norte que se encuentran

“suelos” en su parte superior, siendo su situación muy delicada y presentando un posible riesgo de colapso estructural.



*Agrietamientos y cata en el muro Oeste del cajón Este. Descansillo entre 2ª y 3ª planta.*



*Agrietamientos asociados con las rótulas plásticas formadas en las escaleras por imposibilidad de contener en su espesor la línea de presiones. Rótula plástica en la zanca que sube al forjado de 2ª planta*

A su vez los forjados de escalera de esta zona Norte se han visto sometidos a un desplazamiento y un reacomodo. La esbeltez de dichas bóvedas supone que la línea de presiones asociada a los esfuerzos que ha de soportar (peso propio y sobrecargas de uso) vaya muy forzada en su espesor, de forma que un movimiento horizontal hacia fuera del muro de fachada norte, suponga un cierto reacomodo de la bóveda que motiva que la línea de presiones no pueda ser contenida en el espesor existente, plastificando determinadas secciones de la escalera que se manifiestan mediante agrietamientos (rótulas plásticas) que al igual que ocurre con el agrietamiento de los muros transversales ganan en amplitud a medida que se asciende.

#### **4.- ESTUDIO ESTRUCTURAL DE LOS MUROS Y CIMENTACIÓN**

En este sentido se llevó a cabo el estudio estructural de los elementos portantes de la crujía 3-3' (al Norte) por ser la que presenta mayores luces, y de la torre SW. Los pasos seguidos son los que se indican:

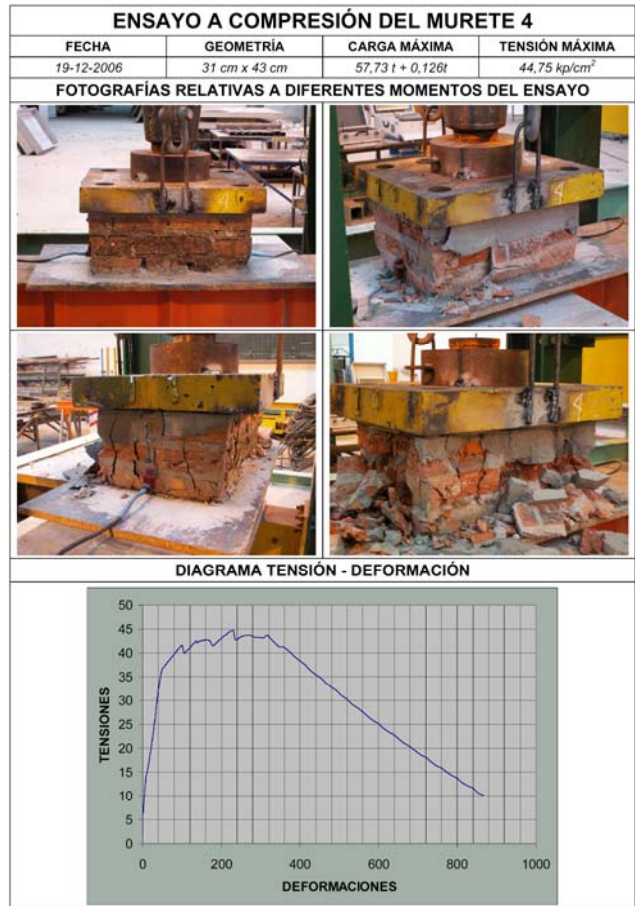
Se realizaron una serie de ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UC sobre muretes de fábrica de ladrillo extraídos de la construcción, para determinar la resistencia característica a compresión de la fábrica de ladrillo existente y tener un orden de magnitud de otras propiedades mecánicas relacionadas. Asimismo, en función de los materiales componentes de las mamposterías de piedra se estimaron sus características resistentes.



Extracción de de las muestras

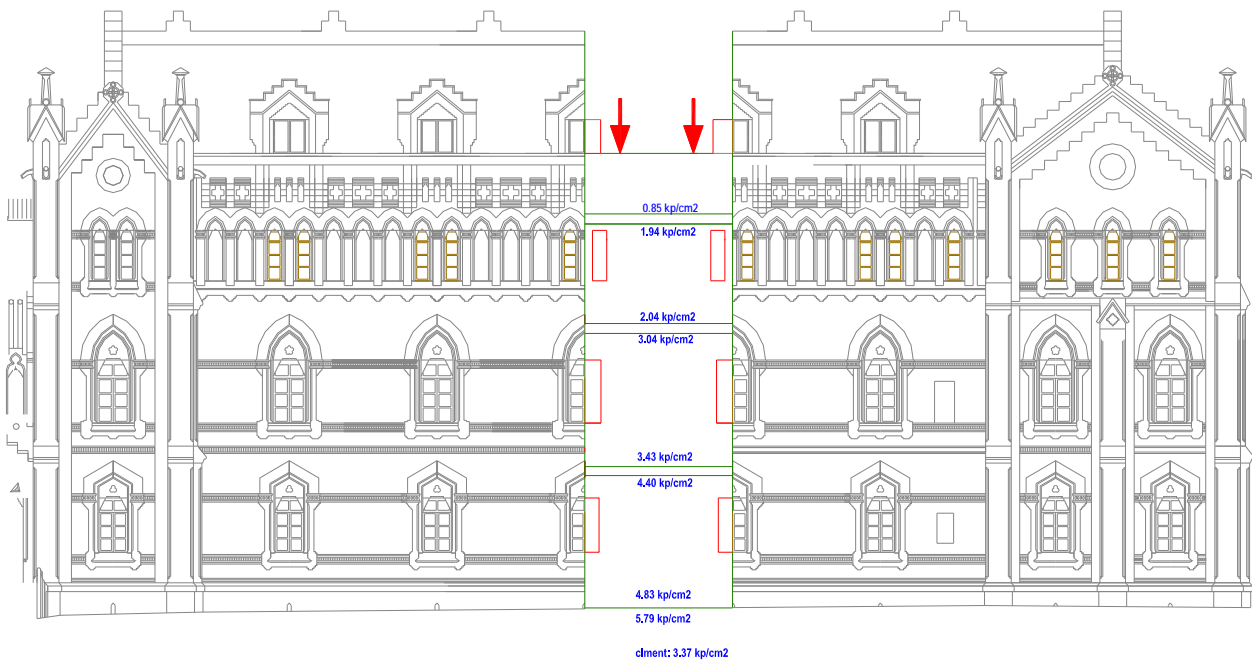


Configuración general del ensayo



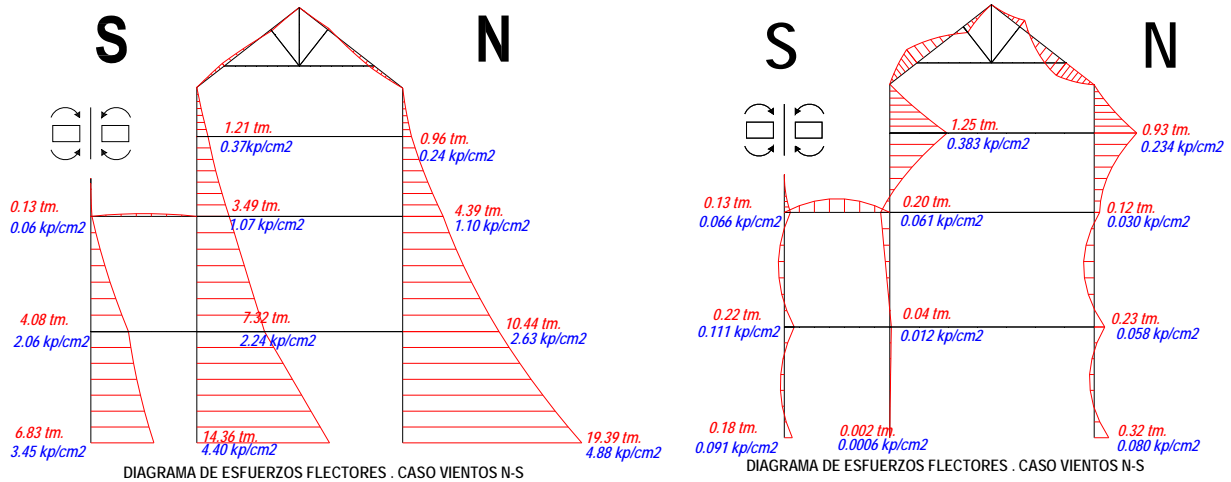
Resultados de uno de los ensayos realizados

Para cada uno de los **muros portantes de la cruzía 3-3'** se realizó una evaluación mediante cálculo manual de los niveles tensionales medios en servicio asociados a las cargas de peso propio y sobrecargas de uso, teniendo en cuenta los efectos de la excentricidad de los forjados.

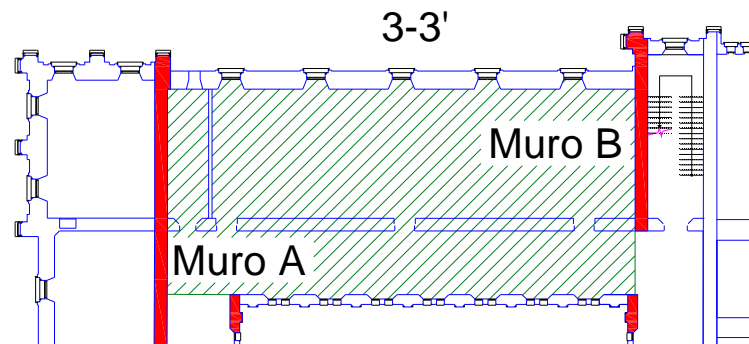


Croquis en el que indican los niveles de tensión medios en servicio (sin mayorar cargas) de distintos puntos críticos de los paños del muro de fachada norte de la sección 3-3'

De la misma forma, mediante un modelo de barras, se evaluaron los niveles tensionales en servicio asociados a las acciones de viento, tanto en la situación actual como en la situación futura.



Para la situación futura se ha considerado que todos los forjados existentes han sido demolidos y rehechos de hormigón armado. Bajo esta hipótesis el esquema estructural varía, en tanto que los forjados tienen capacidad de transmitir cargas en toda la longitud del muro comportándose como diafragmas rígidos que transmiten las sollicitaciones horizontales a los muros arriostrantes transversales que, mediante mecanismos de flexión y sobretodo de cortante, ofrecen una gran estabilidad a la construcción frente a dichas sollicitaciones (para ello se verificaron los muros transversales frente a esfuerzos de corte).



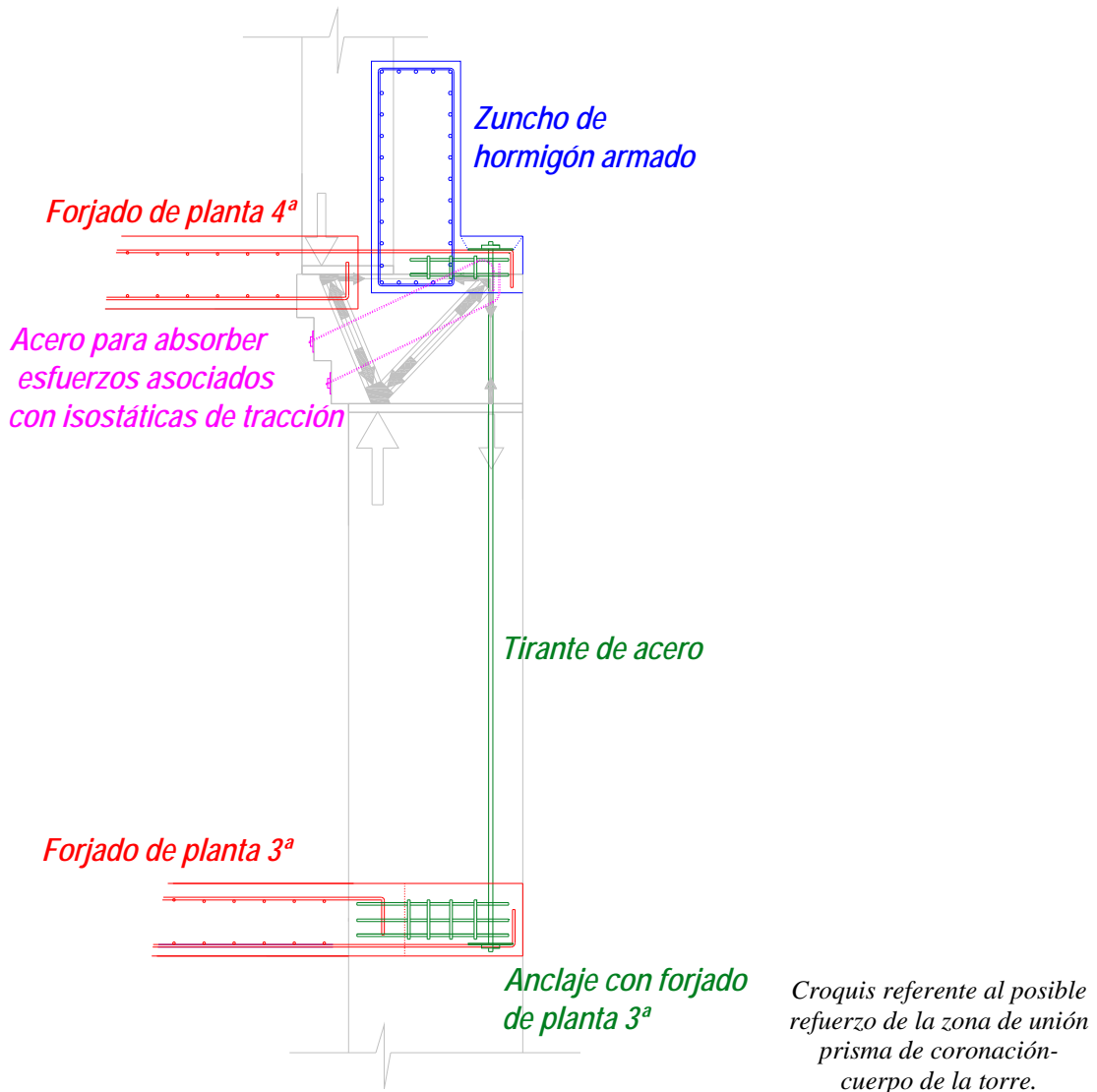
*Muros arriostrantes frente a esfuerzos horizontales en las inmediaciones de la crujía 3-3'*

En relación a los muros de la crujía 3-3' se concluye que todas las verificaciones realizadas para los puntos de control de tensiones analizados cumplen, a excepción del nivel tensional en cimentación del muro interno de la crujía 3-3'.

Por su parte, en relación con la comprobación estructural de los **muros de carga de la torre SW** puede concluirse que, en general, todas las verificaciones realizadas frente a mecanismos de compresión en los puntos de control de tensiones analizados cumplen. Además en el plano de entronque entre el prisma de coronación y los muros portantes subyacentes las mayores tracciones se producen en la zona central del paño y no en las esquinas, ya que en éstas últimas las cargas asociadas a los pináculos contribuyen a centrarnos la resultante de cargas aplicadas en ese plano, por lo que la excentricidad de la resultante se reduce bastante y por tanto las tracciones producidas.

Ante la necesidad de absorber dichos esfuerzos de tracción se propusieron diversas soluciones de posible refuerzo. Una posible solución apuntada es la disposición de una

cadena de atado de hormigón armado que zunche los cuatro muros, un forjado a modo de placa de hormigón con armado bidireccional que empotre puntualmente (a nivel de cada nervio) en dicho zuncho, y un tirante vertical anclado bien al muro de fábrica o bien al forjado del nivel inferior.



También se cree conveniente dejar constancia de que lo referido se deduce de la comprobación realizada para una hipotética situación futura en que todos los forjados existentes han sido demolidos y rehechos de hormigón armado. Asociado a dicha actuación los niveles tensionales normales debidos al peso propio del forjado y las sobrecargas de uso vinculadas a los usos que se pretende dar al inmueble, son mayores que los actuales, y además como los forjados de hormigón tienen capacidad de transmitir cargas en toda la longitud del muro (comportándose como diafragmas rígidos que transmiten la carga de unos muros a otros) el reparto de cargas entre éstos siempre se ve favorecida, es decir que las acciones predominantes de viento sobre uno de los muros (por ejemplo sobre el muro W en un viento con dirección W-E) se diluyen en ambos muros W y E, repartiéndose bastante. Lo aludido con anterioridad explica que en la actualidad se presenten importantes procesos patológicos de agrietamiento en la torre SW que han llevado incluso a motivar su “apuntalamiento” exterior, ya que en la situación actual los niveles tensionales normales son menores que los futuros (menor peso propio de los forjados y menores sobrecargas de uso), es decir los muros están más descargados, y dada la poca rigidez de los forjados de madera el

reparto de las acciones eólicas en los muros es limitada, concentrándose en el muro a barlovento (por ejemplo frente a un viento con dirección W-E las cargas mayoritariamente las absorbe el muro W), circunstancia esta última que motiva que las flexiones en dicho muro sean mayores y por ende los niveles tensionales en la cara de tracción también sean mayores, de forma que al combinar los estados tensionales referentes a peso propio y sobrecargas (menores que en el futuro) y los referentes a la acción del viento (mayores que en el futuro), las secciones con fibras a tracción crecerán en número, así como en el nivel de las tracciones. Por todo ello que los procesos patológicos en la actualidad sean bastante significativos.

Para finalizar este epígrafe cabe aludir a que la valoración estructural realizada tanto para los muros de las crujeas 3-3' como de la torre SW responde a una previsión de disposición de forjados de muro a muro, sin jácenas de carga. La idea de utilizar un número suficientemente amplio de elementos que apoyen en los muros (sin concentrar mucho las cargas en un número reducido de jácenas portantes), debiera, en nuestra opinión, tenerse en cuenta a nivel de proyecto. Ello permite repartir adecuadamente las cargas en los muros portantes, sin concentrar excesivamente aquéllas en los mismos.

Caso de adoptar como solución constructiva la disposición de jácenas de carga para acortar las luces de forjados, sería necesario llevar a cabo una comprobación de los niveles tensionales en las secciones de los muros en que apoyen dichas jácenas.

## **5.- ESTUDIO ESTRUCTURAL DE OTROS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**

El Estudio de Ingeniería DÍNAMIS ha realizado la comprobación estructural de diferentes zonas de la edificación. Entre las zonas verificadas cabe relacionar las siguientes:

- Nave central de la iglesia que incluye una estructura principal formada por contrafuertes y arcos ojivales junto a las cúpulas, forjados, cerchas de cubierta y torres de la misma.
- Zona central sur, que esta formada por el hall de entrada, paraninfo, cubierta y torre del reloj, en esta zona también se analiza la fachada que cierra estos habitáculos.
- Forjados de madera del edificio.
- Aljibe situado en uno de los claustros del edificio.

## **6.- ESTUDIO GEOTÉCNICO**

Ha sido llevado a cabo por TRIAX y su objetivo fue el establecer las condiciones de cimentación de las diferentes zonas y elementos del edificio, con especial consideración de aquéllas que pudieran tener que ver con patologías estructurales, observadas en fachadas exteriores, y en tabiquerías y solados interiores; conocer la tipología y capacidad portante de nuevos apoyos, y discernir cuáles pueden resultar precarios necesitando proceder a su refuerzo o recalce.

En relación a las características geotécnicas de los materiales afectados aludir a que bajo el edificio a estudiar, tiene lugar el contacto entre dos formaciones rocosas:

- Areniscas poco cementadas y lutitas en la zona N y NW del edificio.
- Calizas y dolomías en el resto del inmueble.

En relación a las cimentaciones puede concluirse que la tipología de cimentación utilizada en todos los casos es muy similar, con muros de carga apoyados sobre zanjas rellenas de gravas

calcáreas, con cierto grado de cementación. Sin embargo, la geometría y composición de la cimentación difiere de unos puntos a otros. Aparentemente, en todos los casos, con una mayor o menor profundidad y anchura de la zanja de gravas calcáreas, la transferencia de las cargas se realiza al sustrato rocoso.

En lo que respecta a las tensiones admisibles asociadas a cada situación, cabe referir que para el caso de las calizas y dolomías puede considerarse una presión admisible  $p_{adm} = 16,1 \text{ kp/cm}^2$  y para el caso de las areniscas poco cementadas y lutitas una de  $p_{adm} = 4,50 \text{ kp/cm}^2$ .

## **7.- ESTUDIO DE LOS MATERIALES PÉTREOS, LADRILLOS Y MORTEROS. POSIBLES TRATAMIENTOS ASOCIADOS.**

La caracterización de los materiales de referencia fue llevada a cabo por LADICIM-UC y fue realizada en dos fases de trabajo, la primera comprende las acciones experimentales para la caracterización física, química y mecánica de los materiales utilizados en la construcción original del edificio, y la segunda fase de trabajo, la realización de estudios específicos de durabilidad de los materiales considerados.

Se han planteado una serie de experimentos aplicados a cada grupo de materiales considerados (piedras, ladrillos y morteros). La caracterización de la **composición química** de los materiales se ha realizado mediante microanálisis elemental con sonda electrónica (EDAX) y análisis mineralógico por difracción de rayos X (XRD). La **caracterización física** de los elementos pétreos, con la realización de ensayos para la determinación de las densidades aparente y relativa, la porosidad y la absorción de agua de cada uno de ellos. La **caracterización mecánica** de los elementos de piedra y ladrillo se ha llevado a cabo mediante ensayo de probetas para estimar la resistencia mecánica a compresión. Los ensayos encaminados a caracterizar la **durabilidad** de las probetas de material, ensayos de heladicidad y ciclos de humedad/sequedad, tratan de establecer el control de la pérdida de masa de una probeta después de estar sometida a un programa de ciclos así como la posterior estimación de la pérdida de propiedades mecánicas mediante la realización de ensayos de rotura a compresión tras completarse un programa de ciclos.

La empresa CHEMPRO ha analizado el estado de conservación de los materiales pétreos, ladrillos y morteros involucrados en las fachadas, con el objetivo de tomar consciencia de su situación actual, así como proponer tratamientos terapéuticos aplicables a dichos materiales para protegerlos y consolidarlos. Para ello se realizó una campaña experimental en base a ensayos de absorción de agua, ensayos de succión de agua, ensayos de eflorescencias y ensayos de abrasión.

En base a los estudios desarrollados se recomendó un saneamiento previo de todo el conjunto a tratar y ,posteriormente, realizar sobre las fábricas de ladrillo una consolidación, seguida de una hidrofugación superficial. La finalidad es reforzar la estructura microcristalina de los ladrillos y reducir su absorción de agua. En el caso de las piedras calizas y calizas margosas, se recomienda la aplicación de una sola mano de producto hidrofugante, porque debido a su baja absorción al aplicar el tratamiento completo (dos capas de material hidrófugo) se produce una leve alteración del aspecto original de la piedra (una ligera subida del tono de color de la piedra).

Además, en base a los resultados de resistencia a la abrasión de que se dispone puede concluirse que el tratamiento mejora levemente la resistencia a la abrasión en todos los casos, circunstancia que motiva una mayor resistencia a la erosión eólica del material expuesto al exterior.

## **8.- ESTUDIO DE HUMEDADES.**

Este trabajo fue sido confiado a los Profesores Gerónimo Lozano y Alfonso Lozano. De forma general, desde el punto de vista de las humedades, se entiende que el inmueble fue objeto de dos intervenciones desafortunadas que, unidas a su antigüedad, a la diferente calidad respecto a diseño y materiales de la zona noble y del resto del inmueble, y a la falta de mantenimiento y el abandono sufrido por el mismo durante más de un tercio de su existencia, explican y justifican la situación actual. Dichas intervenciones han sido en primer lugar el corte del atirantado transversal, acaecido en un momento de su historia, que ha roto la enlazabilidad necesaria a una estructura de muros de carga con elevadas luces en los vanos y esbelteces en las fábricas. Como consecuencia, sus encuentros se han transformado en vías de agua. Y en segundo lugar la modificación de la red de pluviales y la posterior obturación de algunas bajantes que ha sobrecargado a otras, y así una parte de los canalones, que en lugar conducir las aguas al exterior, las vierten al interior del bajo cubierta del que descienden a través de los alfarjes.

En base a las lesiones observadas, tras el proceso deductivo desarrollado y con la ayuda de la instrumentación, puede diagnosticarse la existencia de un proceso primero y principal de filtraciones de agua desde la envolvente superior (cubiertas y terrazas) y a través de los buhardillones, éstas en colaboración con la acción de las plantas. Principalmente dicho proceso se inició con el corte de los tirantes existentes a nivel del bajo cubierta, encargados de garantizar el monolitismo del edificio al arriostrar sus fábricas y reducir sus longitudes de pandeo. Posteriormente, el agua infiltrada provocó otros procesos secundarios muy diversos. Los más virulentos para el edificio fueron los debidos a los agentes xilófagos sobre los componentes de madera, los procesos físicos de capilaridad y de expansión y retracción hídrica que afectan las fábricas, y los procesos químicos de disolución y cristalización de las sales solubles que arenizan los ladrillos y exfolian los sillares.

En relación a la terapéutica a aplicar referente a los procesos patológicos debidos al agua, se recomienda reestructurar el edificio a fin de cortar la entrada de agua a través de las fracturas de sus fábricas y de devolverle la enlazabilidad perdida, remodelar la red de evacuación de pluviales para cortar las filtraciones y erradicar la vegetación de la cobertura, impermeabilizar las terrazas de los claustros y así evitar la entrada de agua a los mismos, el saneamiento de los patinillos que circundan la iglesia, la instalación de una red de drenaje que recoja el agua de las bajantes y corte el ascenso del agua capilar.

## **9.- ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL.**

Este trabajo ha sido realizado por MONTAÑESA DE DESINFECCIÓN con el objetivo de analizar la degradación existente sobre determinados elementos de madera del Seminario Mayor de la Universidad Pontificia de Comillas, para ello se escogieron varias zonas de muestreo, donde el estudio fue más intenso, así como otras zonas concretas. Para llevar a cabo el análisis se realizó:

- Inspección visual de los signos de deterioro producidos por organismos xilófagos mediante observación de superficie y/o técnicas de visión artificial (endoscopio).
- Medición de la humedad relativa de las piezas de madera, mediante análisis instrumental.
- Realización de catas con brocas específicas para madera para determinar la dureza y su profundidad (métodos pseudo no destructivos).

- Métodos sónicos para la determinación de actividad de los hipotéticos organismos xilófagos.
- Análisis de la información recogida en las visitas a obra para detectar el estado en que se encuentra la madera en las zonas investigadas.
- Propuesta de soluciones eficaces para su posterior tratamiento, adecuándolo a cada situación.

En general, la infestación que presenta el edificio respecto a anóbios y líctidos es totalmente aceptable teniendo en cuenta los años de construcción y es solucionable con tratamientos de inyección (riesgo 3) y pulverización (riesgo 1 y 2) en la madera que se vaya a dejar en la rehabilitación. Los problemas de hongos se solucionarán, en cuanto se rehabilite el edificio y desaparezcan las humedades, mediante una impregnación de productos fungicidas. El hecho de la rehabilitación va a suponer que se disminuyan los porcentajes de humedad en la madera y en paredes, lo que hará que la madera tenga una humedad insuficiente para la supervivencia de termitas y hongos. Es necesario realizar una inyección en las cabezas de vigas y viguetas empotradas en muros con productos fungicidas e insecticidas, puesto que la humedad tardará en eliminarse por completo y así evitamos la nueva proliferación de esporas o termitas mientras dura este proceso de secado.



*Inspección visual de signos producidos por organismos xilófagos mediante técnicas de visión artificial (endoscopio). Cortesía Montañesa de Desinfección.*



*Métodos sónicos para la determinación de actividad de los hipotéticos organismos xilófagos. Cortesía Montañesa de Desinfección.*

Se ha detectado la presencia de térmitas en varias zonas del edificio. Para solucionarlo habría que empezar los trabajos de control antes de comenzar las obras de rehabilitación en el edificio, ya que el movimiento ocasionado durante éstas, haría que desaparecieran temporalmente las termitas hacia los termiteros exteriores, hacia el interior de muros, zonas libres de obras o edificios colindantes, volviendo al inmueble que nos ocupa en cuanto terminasen los trabajos de rehabilitación. Para evitarlo es necesario comenzar a colocar cebos atrayentes hacia los exteriores, intentando tomar contacto con las diferentes colonias de termitas, y a partir de ahí, comenzar su tratamiento. En relación a los tratamientos susceptibles de aplicación frente a termitas cabe distinguir entre:

- Tratamiento inicial (antes de comenzar las obras). Constaría de cuatro fases, la inspección de zonas a tratar y determinación de puntos de control; la colocación de cebaderos para mapeo; la revisión cada 15 días y cuantificación de resultados; y por último la colocación de cebos biocidas en las estaciones de control. El tiempo mínimo estimado para establecer contacto con termitas en el exterior de los inmuebles es de seis meses.

- Tratamiento de control total. Consistiría en el seguimiento mensual o bimensual de todas las estaciones de cebo con reposiciones de las que sean necesarias; y la colocación de nuevos cebaderos en el interior del inmueble a medida que vaya avanzando la obra de restauración dejando accesibilidad a estos cebaderos. El tiempo mínimo de tratamiento estimado en un control total de térmitas será de cinco años.
- Tratamiento preventivo. A este respecto se dejarán instaladas varias estaciones de cebo sin biocidas y su revisión se efectuará cada 4 meses. En el caso de aparición de termitas se actuará de forma de choque aumentando las revisiones y aplicando biocidas inhibidores de quitina.

La madera que no sea susceptible de sustitución por exigencias mecánicas, es decir la que se vaya a mantener en la restauración, es imprescindible tratarla para su protección y eliminación de la infestación existente, bien por sistemas de inyección (cabezales o empotramientos) o por impregnación según el tipo de infestación y grado de ataque que padezcan. En caso de emplear nuevos elementos de madera durante las obras de rehabilitación será imprescindible que toda esta madera se encuentre tratada por el sistema de autoclave de vacío-vacío con productos orgánicos (vigas, viguetas, tarima de suelos, rastreles, marcos de puertas, marcos de ventanas, ventanas) cubriendo el tipo de riesgo 3. Toda la madera nueva deberá ir certificada en su tratamiento con garantía al efecto y el tipo de riesgo que cubre.

## **10.- CONCLUSIONES**

Una vez realizado el estudio entendemos que los principales procesos patológicos que presenta la estructura del Seminario Mayor de Comillas, a la postre nueva sede de la Fundación Comillas, han sido detectados y se han diagnosticado cuáles de ellos son graves y debieran ser objeto de reestructuración en la fase del proyecto de ejecución.

## **11.- RECONOCIMIENTO**

Los autores de este artículo técnico desean agradecer a la Sociedad de Activos Inmobiliarios Campus Comillas, S.L. y al Plan de Gobernanza Tecnológico 2006 (Exp. PGT 33/2006) del Gobierno de Cantabria el habernos confiado los “Estudio previos” a la rehabilitación del Seminario Mayor de Comillas, de los cuáles se han recogido la mayoría de las fotografías y dibujos que ilustran el presente artículo.