

# KNOW-HOW EN MATERIALES Y TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA

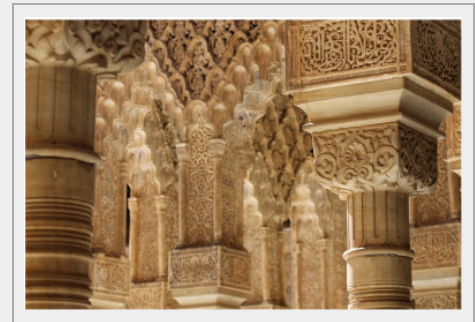
## CONTACT DETAILS:

Relaciones con la Empresa  
Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación-OTRI  
Universidad de Alicante  
Tel.: +34 96 590 99 59  
Email: [areaempresas@ua.es](mailto:areaempresas@ua.es)  
<http://innoua.ua.es>

## ABSTRACT

El Grupo de investigación en restauración arquitectónica de la Universidad de Alicante (GIRAUUA) lleva trabajando más de 20 años en restauración arquitectónica. Esta experiencia, junto con las técnicas instrumentales más vanguardistas, permite al grupo ejecutar con éxito cualquier proyecto de restauración (iglesias, monasterios, conventos, castillos, murallas, palacios, ayuntamientos, hospitales, puentes, yacimientos arqueológicos, museos, etc.).

También se realizan para otros profesionales estudios diagnóstico previos al proyecto y labores de asesoría durante la obra.



## TECHNICAL DESCRIPTION

El Grupo de investigación en restauración arquitectónica de la Universidad de Alicante (GIRAUUA) lleva trabajando más de 20 años en restauración arquitectónica, tanto en los aspectos relacionados con la investigación de la arquitectura existente, como en la aplicación de nuevas técnicas en su intervención.

Fruto de esta amplia experiencia, el grupo desarrolla tres tipos de trabajos, que se concretan en:

1. Realizar **estudios de diagnóstico** (previos a la intervención de edificios, tanto históricos como contemporáneos) de los sistemas constructivos y de los materiales (tanto de los existentes, como de los que se pretenden aplicar). También se realizan propuestas sobre la forma en que se debe realizar la obra y los tratamientos a aplicar.
2. Realizar **labores de asesoría** durante la ejecución de las obras, tanto a la dirección facultativa, como a la empresa constructora, con análisis de laboratorio y ensayos *in situ* para ver los resultados de la intervención.
3. Realizar **proyectos de restauración** y dirección de las obras de ejecución.

Se denomina estudio-diagnóstico a la fase que incluye la toma de datos sobre el estado de la construcción y la interpretación de los mismos.

Es frecuente observar como muchos técnicos se limitan a una simple prospección visual del edificio y con los datos obtenidos, de marcado carácter subjetivo, adoptan decisiones tan importantes como declararlo en ruina o demoler partes sustanciales del mismo.

En general, los técnicos, ante una obra de intervención adoptan posturas condicionadas por su responsabilidad civil, eliminando los elementos constructivos que no le ofrezcan total seguridad, basándose en los pocos datos que se obtienen de la prospección visual, por lo que muchas partes del edificio con interés cultural se pierden.

Por ello, es necesario emplear técnicas que permitan obtener datos rigurosos y científicos (reproducibles, fiables, cuantitativos, etc.) para adoptar así decisiones con una base más firme.

Mediante observación visual, o con el empleo de técnicas sencillas, se deben detectar todas las lesiones existentes, dibujándolas

en planos para poder tener una visión general del estado del edificio que permita interpretar con mayor exactitud las causas de los daños. Para un estudio en profundidad, resulta imprescindible realizar análisis de laboratorio, así como emplear técnicas y aparatos de medida de última generación que habitualmente no están presentes en las empresas de restauración. Las técnicas más sencillas y económicas son siempre las más recomendables, aunque en ocasiones hay que recurrir a métodos complejos. Por ejemplo, es mucho más importante conocer de forma cuantitativa que la humedad es del 86%, a saber simplemente que hay humedad por mera observación.

A continuación se detalla el instrumental con que cuenta el grupo para desarrollar su actividad (tanto para analizar los materiales del edificio, como para estudiar los posibles tratamientos):

#### A) DE OBSERVACIÓN DIRECTA:

· **VISUAL SUPERFICIAL:** se emplean pequeñas herramientas para observar la dureza, grado de cohesión, toma de muestras, etc. Se puede usar un punzón, una espátula o una lupa. También es muy útil un rociador con fenolftaleína para los morteros, ya que detecta muy fácilmente la presencia de hidróxido cálcico (portlandita) al virar su color a rosa.

· **ENDOSCOPIO (INTERIOR):** se trata de un tubo dotado de fibras ópticas con lente y ocular en un extremo, y entrada de luz en el otro; se debe practicar un agujero e introducir el endoscopio. Resulta útil para investigar la forma de construcción de las fábricas, ya que permite acceder a zonas internas con buena luminosidad.

#### B) PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:

· **ULTRASONIDOS:** se basa en la propagación de ondas ultrasónicas elásticas a través de un material. Para ello, se mide la velocidad de transmisión mediante dos transductores que miden el tiempo que dura entre dos puntos a una cierta distancia. Ésta depende de las fuerzas de unión entre las partículas, por lo que la velocidad es mayor en materiales compactos, y menor en porosos y con anisotropías. La onda se transmite por la periferia en caso de haber grietas, o no lo hace si éstas atraviesan todo el muro. La medida directa es la más recomendable; la semidirecta, la más aconsejable en esquinas; y la indirecta, la menos sensible (a una cara). Define la densidad y porosidad de un material o una fábrica y el efecto de los tratamientos. Aporta datos indirectos sobre la resistencia mecánica.

· **LUPAS MICROMÉTRICAS:** sustituyen a los conocidos testigos. Son de pocos aumentos (usualmente 10), aunque pueden llegar a 150 con una escalilla en décimas de mm que permite medir la variación de la fisura.

El *Tell Tale* está formado por dos placas de plástico acrílico que se fijan cada una a un lado de la grieta, en una está la escalilla y en la otra, una cruz que marca la variación del ancho de la grieta. Pueden utilizarse otros métodos alternativos.

· **GATOS PLANOS:** miden la tensión de la fábrica en su superficie. La técnica consiste en fijar dos puntos de medida en línea con la dirección del esfuerzo a medir, determinando la distancia entre ellos ( $d_1$ ). Se hace una hendidura en el muro en medio de los dos puntos, que tienden a acercarse por las cargas ( $d_2$ ), y se introduce un gato hidráulico plano aplicando presión hasta que los puntos recobran su posición original ( $d_1 = d_2$ ). La presión hidráulica aplicada es igual a la tensión existente. En materiales homogéneos e isotropos, sirve también para determinar la deformación.

· **HUMIDÍMETRO:** mediante el empleo de sondas, mide la humedad de una fábrica, tanto en la superficie como en el interior. Permite dibujar curvas higrométricas si se toman datos en todo el edificio.

· **TERMOHIGRÓMETRO:** mide la humedad del aire y la temperatura del aire y el muro. En función de estos factores, es posible conocer el punto de rocío, ya que éste se alcanza cuando la temperatura del aire es superior a la temperatura del muro, siendo entonces cuando se forman condensaciones.

· **CÁMARA TERMOGRÁFICA:** establece una gama de colores que indican las zonas calientes y frías del edificio, en función del contenido de agua y la inercia térmica de los materiales.

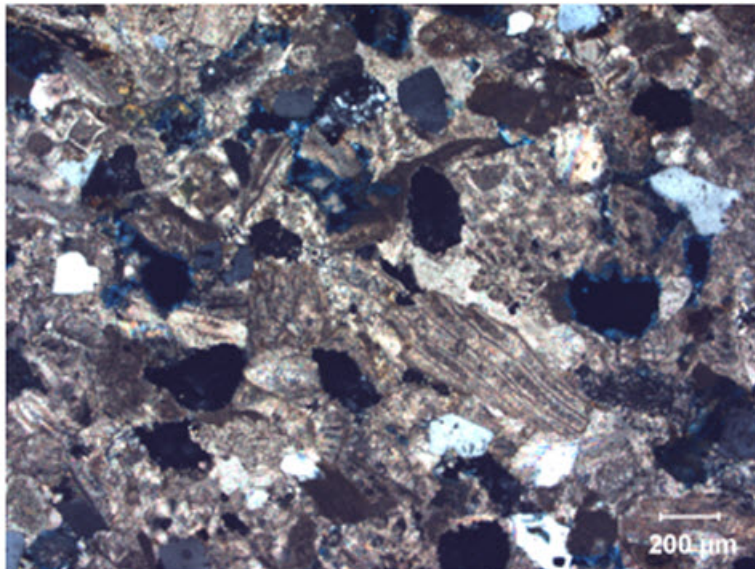
#### C) TÉCNICAS DE LABORATORIO:

· **LUPA BINOCULAR** (de 5 a 100 aumentos): permite observar la forma, el tamaño, la posición de los granos minerales, el material cementante, la presencia de fósiles, porosidad, conectividad del poro, etc. Su empleo es muy sencillo, pues basta un pequeño fragmento de muestra. Además, es posible realizar fotografías.

· **MICROSCOPÍA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN** (de 10 a 500 aumentos): es necesario preparar láminas de piedra de 0,03 mm que permitan el paso de la luz, pegándolas con resina epoxi a un portaobjetos de vidrio.

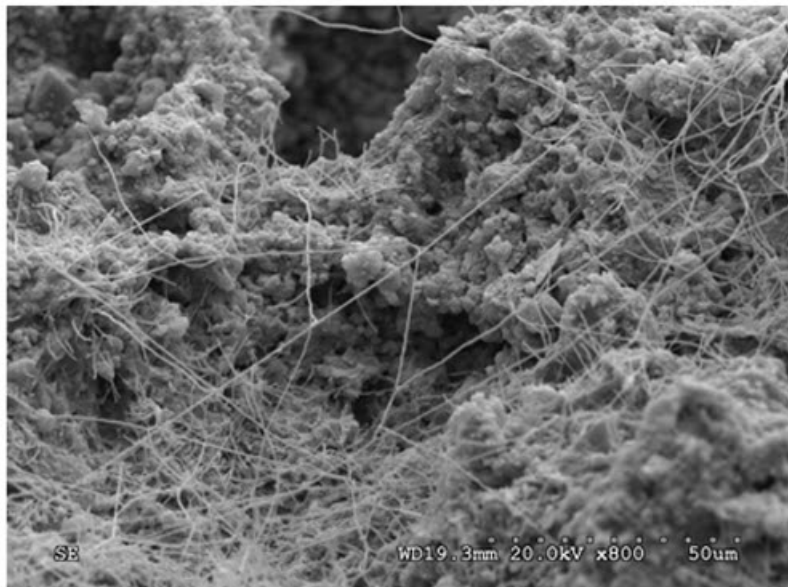
Puede utilizarse con nícoles paralelos o cruzados cambiando la luminosidad. Permite identificar los minerales con total seguridad, tanto los principales como los secundarios y accesorios, su estructuración, forma, dimensiones, tipos de porosidad, etc. así como establecer la génesis de las rocas para clasificarlas, determinar su procedencia y procesos postgenéticos. Es posible así identificar los materiales de un edificio y compararlos con los de la cantera.

· **MICROSCOPÍA ÓPTICA DE FLUORESCENCIA:** si se utiliza la radiación de fluorescencia, es necesario aplicar a la muestra anterior una resina fluorescente que rellene los espacios vacíos. El sistema poroso se identifica mucho mejor con este método de observación.

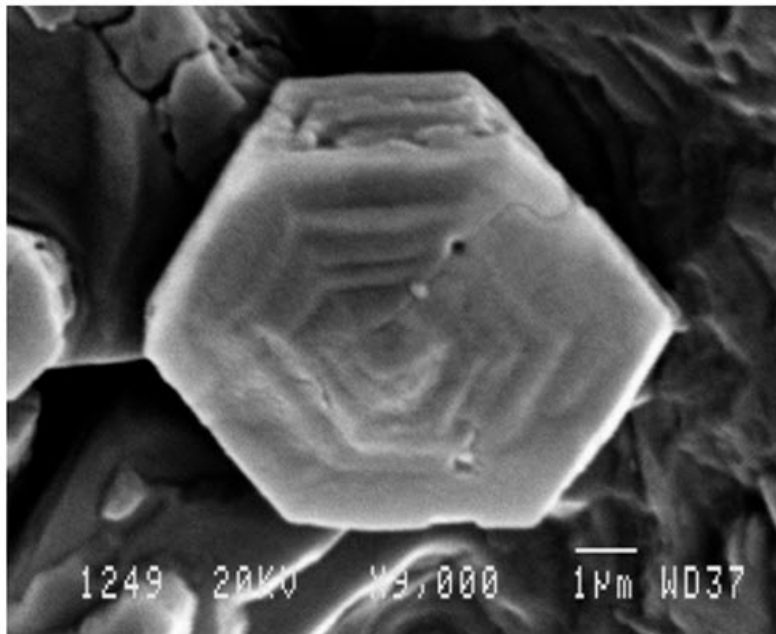


*Biocalcarenita arenosa, foraminíferos, briozoos, algas rojas, equinodermos, bivalvos, con una moda de tamaño de 0,5-1,0 mm.*

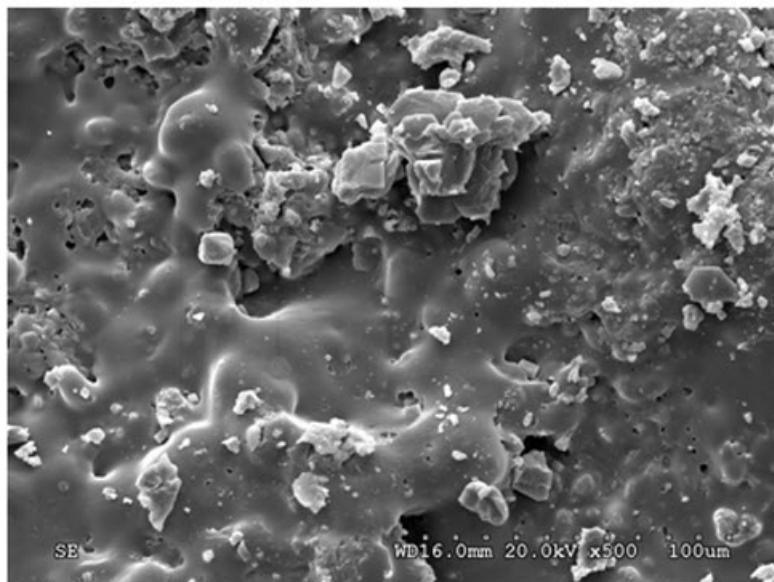
· **MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)** (hasta 20000 aumentos): las muestras son pequeños fragmentos que se pegan a un portaobjetos y se metalizan, ya que se observan tras incidir un haz de electrones sobre ellas. Se observan tridimensionalmente -con modificación rápida de los aumentos-, con posibilidad de hacer microanálisis por EDX para identificar minerales. Incorpora cámara fotográfica, monitor e impresora. Permite identificar con claridad las propiedades morfológicas de los minerales constituyentes, incluso de los submicroscópicos tipo arcillas. El microanálisis químico sirve para dar una idea precisa de los materiales originales y de los que aparecen en los procesos de alteración por costras, sales, etc.



*Aspecto de colonias de microorganismos y los poros.*



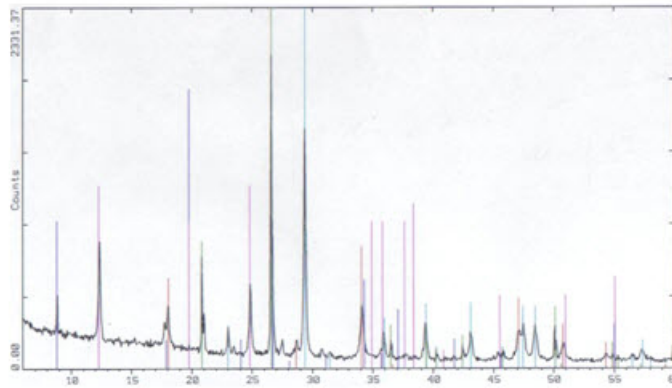
*Cristal de silvita de las eflorescencias del muro del Puente de Elche.*



*Consolidante + hidrofugante. Formación de película en superficie.*

- **MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN (TEM)** (es el de mayor campo de ampliación, de 50 a 80000 aumentos): permite realizar microfotos y microanálisis. La preparación de muestras es compleja, pues resulta necesario desagregar en mortero de ágata una pequeña cantidad de material con agua destilada, agitar y retirar la parte que sobrenada, introduciéndola en un tubo con agua destilada. Tras agitar, se pipetea unas gotas de la fracción arcillosa, que se pasan a otro tubo hasta alcanzar una opalescencia determinada. Una gota de la suspensión se coloca en una rejilla de bronce con película de carbono y se lleva a una estufa a 60°C hasta evaporar el agua. Se basa en la difracción de los rayos X. Permite identificar los materiales de la fracción arcillosa (entre dos micras y geles), así como determinar las fases cristalinas de los de alteración.

- **ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X**: se necesita una pequeña muestra de material pulverizado. Cada sustancia cristalina expuesta a la incidencia de los rayos X produce un espectro de difracción característico. Aunque no permite fotografías, sí se pueden identificar completamente las fases minerales (incluso las arcillas) de una forma mucho más rápida que con el TEM. Además del análisis cualitativo, se puede obtener uno semicuantitativo.



Diffractograma de una cal aérea.

- **POROSIMETRÍA POR INYECCIÓN DE MERCURIO:** al ser un líquido que no moja los minerales, permite, por inyección a distintas presiones, medir el rango de los poros y el porcentaje de cada tamaño en función del radio de acceso al poro, reconociendo todas las características de los espacios vacíos que se encuentran en los materiales. Previamente, se debe extraer el aire de la muestra, inyectando luego el mercurio y registrando la cantidad absorbida a cada nivel de presión, que depende del diámetro del poro (entre 0,002 y 1000  $\mu\text{m}$ ).
- **COLORÍMETRO:** se basa en la modificación del color por la luz ultravioleta (UV). Las probetas se someten a ciclos de irradiación (producida por una lámpara de Xenon con un filtro de UV) durante 8 horas (300-800 nm). Para ello se dispone de un equipo Suntest CPS.
- **ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS:** permite evaluar la dureza, las densidades aparente o real, el peso, la absorción al agua, succión, dilatación térmica, heladicidad, resistencia a la compresión, flexión o abrasión.
- **ENSAYOS QUÍMICOS:** para determinar la composición y las sales solubles en superficie
- **ENSAYOS BIOLÓGICOS Y MICROBIOLÓGICOS:** mediante el uso del estereomicroscopio se pueden individualizar las especies (también con el MEB). Con cultivos se detectan los microorganismos, ya que algunos de éstos son causantes de la alteración de los materiales.

#### D) CREACIÓN DE ATMÓSFERAS SIMULADAS:

Se utilizan distintos tipos de cámaras que permiten crear atmósferas diversas, similares a las reales, simulando situaciones con distintos grados de contaminación y cuya acción es mucho más rápida que la real, obteniendo resultados en unos pocos días que son asimilables a 10 ó 20 años de exposición. Se dispone de una cámara climática Vötsch VC 4033.

Para los ensayos acelerados se emplea:

- **CRISTALIZACIÓN DE SALES:** inmersión en disoluciones;
- **NIEBLA SALINA** de NaCl;
- **NIEBLA** de SO<sub>2</sub>;
- **RADIACIÓN ULTRAVIOLETA:** para imitar la acción solar.

En una siguiente fase se debe realizar el diagnóstico del estado del edificio, es decir, elegir entre las distintas hipótesis la que se considera más acertada, interpretando los motivos por los cuales aparecen las lesiones, sus causas y efectos, lo que permitirá tener un conocimiento completo de su estado y de la posible evolución con el tiempo.

Una vez realizado el diagnóstico, se buscan las soluciones más adecuadas en cada caso para un correcto tratamiento de las lesiones y se realizan las propuestas de intervención. La reparación del efecto, si se trata sólo de un *maquillaje*, es optativa, aunque se debe hacer si puede acarrear problemas secundarios (por ejemplo, sellar una grieta por la que puede entrar agua).

Ejemplo de reconversión en una sede universitaria de dos edificios históricos de carácter palaciego en Benissa:



Estado de los edificios previo al proceso de intervención.



*Estado de los edificios tras el proceso de restauración arquitectónica.*



*Estado de los patios interiores (antes).*



*Estado de los patios (después).*

#### ADVANTAGES AND INNOVATIVE ASPECTS

La diversa infraestructura (disponible en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas, en la Facultad de Ciencias y en los **Servicios Técnicos de Investigación** de la Universidad de Alicante), junto con los más de 20 años de experiencia y el buen gusto a la hora de ejecutar más de 40 proyectos de restauración, confiere al grupo un valor añadido del que no disfrutaban otras empresas del sector.

#### CURRENT STATE OF DEVELOPMENT

El grupo se encuentra capacitado para afrontar con éxito cualquier proceso de restauración:

- Estudios previos a la intervención:
- Antecedentes (génesis y evolución del edificio, levantamiento de planos del *estado actual*, etc.).

- Toma de datos.

· Análisis de construcciones históricas, contemporáneas y excavaciones arqueológicas:

- Estudio arquitectónico: análisis estructural.
- Estudio constructivo: análisis de fábricas y materiales.
- Estudio de lesiones y diagnóstico.

· Intervención arquitectónica:

- De carácter arqueológico: para recuperar los restos físicos de distintas épocas (arcos, fachadas, pinturas) manteniendo el valor cultural de los mismos.
- De carácter arquitectónico: para dotar al edificio de todas las condiciones funcionales necesarias (instalación eléctrica, aire acondicionado, sistemas contra incendios, ascensores).

· Asesoría y ensayos de materiales.

#### MARKET APPLICATIONS

En todos aquellos edificios históricos, contemporáneos y restos arqueológicos donde sea necesario llevar a cabo un proyecto de restauración, analizando tanto los sistemas constructivos como los materiales. Por ejemplo: iglesias, monasterios, conventos, parroquias, ermitas, castillos, palacios, norias, puentes, murallas, baños árabes, yacimientos, ayuntamientos, hoteles, fincas, colegios, museos, hospitales, etc.

Asimismo, el grupo es capaz de asesorar a aquellas empresas interesadas en estudiar sus productos, tanto de aplicación a piedras como a morteros de revestimiento.

Entre las empresas con las que ha colaborado el grupo, destacan: EDILTECO, CYES, EDYCON, FREISSENET, INTERSA LEVANTE S.A., TORREMAR PROMOTORA BENIARDÁ-HERMANOS ÁVILA.

#### COLLABORATION SOUGHT

El grupo busca empresas/organismos para:

- Realizar estudios de diagnóstico, labores de asesoría y proyectos de restauración y dirección de obras.
- Ofrecer formación específica (Postgrado).
- Ofrecer apoyo tecnológico en aquellas técnicas que requieran una alta capacitación o instrumental sofisticado que no esté al alcance de la empresa solicitante.
- Intercambio de personal por períodos de tiempo definidos (para el aprendizaje de una técnica, etc.).
- Alquiler del equipo interno a los clientes que deseen llevar a cabo sus propios ensayos (infraestructura propia del Departamento de Construcciones Arquitectónicas y de los Servicios Técnicos de Investigación de la Universidad de Alicante).
- Establecer proyectos de I+D+i con organismos de investigación (públicos o privados), con el objetivo de abrir nuevas líneas de investigación o implementar novedosos desarrollos tecnológicos.

#### INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

La tecnología se encuentra protegida bajo el know-how del grupo de investigación.

#### RESEARCH GROUP PROFILE

El Grupo de investigación en restauración arquitectónica de la Universidad de Alicante (GIRAU) se adscribe al Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Está integrado en el Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio (C.I.C.O.P) y en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.).

Fundado en 1987, lleva trabajando más de 20 años en restauración arquitectónica (desde los aspectos relacionados con la

investigación de la arquitectura existente, a la aplicación de nuevas técnicas en su intervención). Actualmente, el grupo está formado por nueve miembros de reconocido prestigio.

Algunos trabajos desarrollados:

Toma de datos sobre las fábricas y materiales empleados en la Regio VII, Insula III de Pompeya (Italia). Dentro del proyecto de investigación dirigido por el profesor José Uroz del departamento de historia antigua (UA) y subvencionado por el ministerio de Cultura. Octubre 2005-09. En elaboración.

Toma de datos y proyecto de restauración de la Iglesia de La Nucia. Convenio entre la Universidad de Alicante y el Ayuntamiento de La Nucia. Octubre 2005.

Diagnóstico del estado constructivo y análisis de materiales del club social de la Manzanera, Calpe. Convenio Universidad de Alicante y Ayuntamiento de Calpe. Noviembre 2005.

Redacción del proyecto de consolidación de la muralla ibera de la sierra del Castellar en Villena, marzo 2006. Obra octubre, 2007. Análisis de materiales en el Cabezo Redondo de Villena (edad del bronce) julio 2007.

Toma de datos y redacción del proyecto de restauración de la iglesia de Benferri, (Alicante) julio 2006. Obras finalizadas julio 2007.

Trabajos de asesoría en las obras de consolidación y musealización del yacimiento íbero del Molón, Camporrobles (Valencia). Agosto 2006.

Toma de datos y redacción del proyecto de restauración de la iglesia de Benijófar, (Alicante) noviembre 2006. Obras finalizadas julio 2007.

Diagnóstico del estado constructivo y redacción de informe sobre el edificio "Bola de oro" en el centro histórico de Murcia. Diciembre 2006.

Diagnóstico del estado constructivo y redacción de informe sobre el edificio sito en c/San Agustín nº 5, en el centro histórico de Alicante. Febrero 2007.

Toma de datos y proyecto de restauración de la Iglesia de San Sebastián, monjas agustinas (Orihuela). Convenio entre la Universidad de Alicante y el convento. Abril 2007.

Diagnóstico del estado constructivo y redacción de informe sobre el Ayuntamiento de Elx. Empresa Torremar. Mayo 2007.

Toma de datos y proyecto de restauración de la iglesia de Tángel (Alicante). Julio 2007.

Toma de datos y redacción del proyecto de restauración de la iglesia de San Miguel de Salinas, (Alicante) agosto 2007.

Toma de datos y proyecto de restauración del monasterio de la Trinidad, Mutxamel, Alicante. Octubre 2007.

Toma de datos y proyecto de restauración de la iglesia de Biar. Octubre 2007.

#### MARKET APPLICATION (3)

Construction and Architecture  
Materials and Nanotechnology  
Stone and Marble