

CARACTERIZACIÓN DE PATOLOGÍAS DE LA PIEDRA EN MONUMENTOS HISTÓRICOS DE LA COMARCA DE LA LOMA (ÚBEDA-BAEZA)



**Josep Gisbert Aguilar
Ignacio Mateos Royo
Ana Belén Franco Ochoa**

Diciembre 2006

ÍNDICE

I.- Introducción.....	1
II.- Canteras y caracterización de la piedra:	
II.1.- Geología general.....	4
II.2.- Metodología.....	6
II.3.- Petrología	12
II.4.- Petrofísica	17
II.5.-Conclusiones generales de la piedra.....	20
II.6.- Recomendaciones	23
III.- Deterioros:	
III.1.- Introducción general	24
III.2.- Metodología.....	26
III.3.- Tipos de deterioros y distribución	28
III.4.- Análisis del deterioro	54
III.5.- Conclusiones generales del deterioro.....	57
III.6.- Recomendaciones	59
IV.- Bibliografía.....	60

ANEXOS:

Anexo I (Petrología).

Anexo II (Petrofísica).

Anexo III (Distribución del deterioro).

Anexo IV (Análisis del deterioro)

I.- Introducción

El presente trabajo se realiza a petición del Instituto Geológico y Minero de España y se enmarca en un proyecto más amplio dedicado al estudio de los recursos geológicos de la provincia de Jaén, solicitado por la Diputación Provincial de Jaén.

Este informe se centra en la valoración preliminar del estado general del estado del patrimonio de histórico y artístico de la comarca de La Loma y Las Villas. En esta comarca destacan las ciudades de Úbeda y Baeza, incluidas en el catálogo de la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. Dada su especial relevancia ha sido en estas ciudades donde se ha centrado el estudio.

Las siguientes páginas tratan de realizar un breve diagnóstico del estado general de los edificios, a través del análisis de dos parámetros fundamentales:

- Caracterización de las principales variedades de piedra de construcción empleadas en la zona.
Ante la imposibilidad de realizar un muestreo sistemático de la roca original en los propios monumentos, se ha optado por emplear muestras procedentes de canteras situadas en el entorno más próximo y que abarcan las variedades litológicas usadas en la edificación del patrimonio (variedades “Jabaluna”, “Viva” y “Franca”). La caracterización ha consistido, básicamente, en la obtención del máximo de datos posibles relativos a su composición química y mineralógica, su comportamiento frente a la presencia de agua líquida y su resistencia frente al deterioro. Para ello se han empleado una amplia gama de técnicas desde estudios al microscopio de preparaciones de roca hasta ensayos petrofísicos, incluyendo análisis químicos, valoraciones...
- Caracterización de los principales deterioros que afectan a los edificios.
Se ha llevado a cabo tomando como referencia siete edificios emblemáticos (cuatro situados en Úbeda y tres en Baeza) con distintos tipos y grados de deterioro, sobre los que se elaboró una valoración del estado de conservación de sus elementos externos. Este trabajo se realizó mediante una visita al monumento en la cual se tomaron datos sobre la orientación del monumento, materiales de construcción empleados, los tipos de alteraciones presentes, su distribución y su posible origen. Esta información se completó con la documentación fotográfica de los datos más relevantes y con la toma de muestras de piedra y de las patologías más abundantes (eflorescencias salinas y costras negras). Estas últimas muestras se han estudiado mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido (M.E.B.) para hallar su composición y acercarse a la fuente que las provoca.

Como resultado se ha obtenido un elevado volumen de información general aunque sin profundizar en los distintos aspectos que originan los procesos de alteración. Este trabajo permite, sin embargo, centrar el problema y establecer las bases de un estudio más detallado que permitirá mejorar los trabajos de conservación del valioso patrimonio de la zona.

Muestra	Situación	Descripción	Petrografía	Análisis químicos	Difracción rayos X	M.E.B.	Hídricos	Cristaliz. sales
JA-1	Baeza	Piedra de cantera	X	X			X	X
JA-2	Sabiote	Piedra de cantera	X	X			X	X
JA-3	Sabiote	Piedra de cantera	X	X			X	X
JA-4	Porcuna	Piedra de cantera	X	X			X	X
JA-5	Porcuna	Piedra de cantera	X	X			X	X
U.23	Ayuntamiento (Úbeda)	Eflorescencia salina			X			
B.37	Conv. S. Francisco (Baeza)	Eflorescencia salina			X			
U.1	Igl. S. Salvador (Úbeda)	Costra negra				X		
U.2	Igl. S. Salvador (Úbeda)	Costra negra				X		
U.3	Igl. S. Salvador (Úbeda)	Mortero junta de unión	Sin Analizar					
U.4	Ayuntamiento (Úbeda)	Mortero junta de unión						
U.5	Pal. Guadiana (Úbeda)	Eflorescencia salina			X			
U.6	Pal. Guadiana (Úbeda)	Costra negra				X		
U.7	Ig. San Pablo (Úbeda)	Eflorescencia salina			X			
B.1	Ayuntamiento (Baeza)	Eflorescencia salina			X			
B.2	Arco Villalar (Baeza)	Costra negra				X		
B.3	Puerta Jaén (Baeza)	Piedra de monumento	Sin Analizar					
B.4	Arco Villalar (Baeza)	Piedra de monumento						
B.5	Arco Villalar (Baeza)	Piedra de monumento	X					
B.6	Catedral (Baeza)	Eflorescencia salina			X			

Tabla I.1.- Relación de muestras con su procedencia, tipo y herramientas analíticas utilizadas para su estudio.

II.- Canteras y caracterización de la piedra

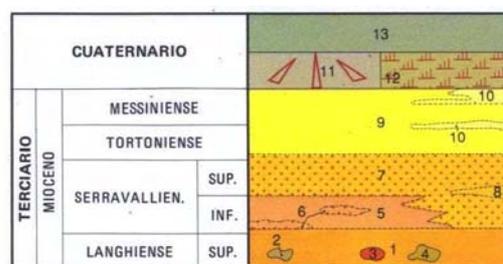
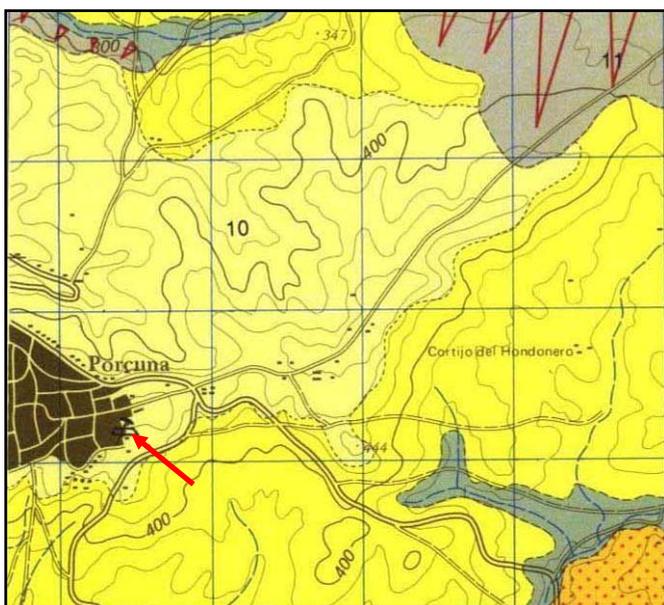
II.1.- Geología general (Canteras)

Las localidades de Úbeda y Baeza están ubicadas en el centro geográfico de la provincia de Jaén, a modo de meseta interfluvial entre los ríos Guadalimar, al norte y Guadalquivir al sur. Esta zona limita al nordeste con el Parque Natural de Cazorla, Segura y las Villas y al Sur con el macizo de Sierra Mágina. Desde el punto de vista geológico, queda incluida en plena Depresión del Guadalquivir, limitada esta última por la Meseta Ibérica al norte y las Cordilleras Béticas al sur. En concreto, los materiales de la Loma de Úbeda corresponden al Mioceno Superior, que representa el relleno final de la Depresión del Guadalquivir.

En general, la zona está constituida por materiales miocenos, apoyados sobre materiales mesozoicos mediante una discordancia erosiva, no angular.

Comprende de abajo a arriba tres pisos;

1. **Tramos inferiores** (Base de la transgresión Tortoniense Superior) compuestos por conglomerados, areniscas y margas. El Terciario marino comienza en la base por una serie de brechas, conglomerados y microconglomerados que, gradualmente y en sentido ascendente, pasan a arenas y areniscas con cemento carbonatado.
2. **Tramos medios** margosos (Tortoniense Superior-Andaluciense) compuestos por areniscas margosas y margas.
3. **Tramos terminales** areniscosos (Andaluciense) compuestos por areniscas, areniscas margosas y margas. Estos tramos coronan los depósitos marinos del Valle del Guadalquivir.



Mapa geológico de España. Escala 1:50.000 (Hoja 925. Porcuna). I.T.G.E. (1991).

El afloramiento de la cantera de Porcuna pertenece a la Unidad de Porcuna, la cual representa el relleno de la Depresión del Guadalquivir durante el Mioceno Superior. Está constituido por calcarenitas de coloración blanca-beige, con una composición mixta de fragmentos carbonatados y silíceos y un porcentaje de cementación variable. La calcarenita se presenta en estratos muy continuos que oscilan entre 10-20 cm de espesor con niveles centimétricos de margas.

El análisis sedimentológico del conjunto de la serie permite argumentar que dichos materiales se depositaron en un ambiente de plataforma marina somera. Además, la presencia de una secuencia granodecreciente en la vertical -consistente en margas hacia la base, que transicionalmente cambian a limos y calcarenitas-, define una evolución regresiva desde ambientes de cuenca a plataforma.

Además de las variedades "Viva" y "Franca" procedentes de la cantera de Porcuna, también se han caracterizado las variedades "Jabaluna" procedente de la zona de Baeza y "Viva" y "Franca" procedentes de la zona de Sabiote. Desconocemos la ubicación exacta de estas variedades, ya que esta información no ha sido facilitada por el taller de cantería "Piedras Sujas" que suministró las muestras.

II.2.- Metodología

En este apartado se detallan las técnicas utilizadas para la caracterización petrológica del material, para la evaluación de su comportamiento hídrico y para determinar su resistencia frente al deterioro. Ante la imposibilidad de hacer muestreos en los monumentos estudiados, se ha optado por emplear muestras de roca similares a la del monumento y procedentes de canteras de la zona.

Los materiales de la zona se han definido estratigráficamente en los mapas geológicos correspondientes (I. T. G. E., 1991). Hay otros trabajos donde se estudian las variedades de piedras usadas en edificios históricos. El primero de ellos habla de las características de la calcarenita en el entorno de Granada (Sebastián Pardo et al., 1992), posteriormente Sebastián Pardo et al., 1995 hacen un estudio específico para la región de Úbeda y Baeza estudiando las variedades “Viva” y “Franca” en la cantera de Atalayon, determinan la petrofísica–porosimetría del material e incluso hacen un pequeño repaso de los edificios pertenecientes al patrimonio de la región. Posteriormente Sebastián Pardo y Zezza (1998) estudian la variabilidad del color de la calcarenita.

Caracterización petrológica del material

El análisis petrológico de los distintos tipos de roca nos ofrece una información fundamental a la hora de interpretar los resultados de los ensayos posteriores. La composición química y las relaciones entre los distintos elementos que conforman la piedra condicionan su respuesta cuando se enfrenta a las condiciones específicas de cada análisis.

El análisis petrológico se ha realizado a dos niveles distintos. El primer nivel se circunscribe a la descripción de la roca a nivel macroscópico o de muestra de mano. En este nivel se incluyen las observaciones sobre el aspecto general de la roca, tales como composición mineral, color, tamaño de grano, presencia de anisotropías y homogeneidad en el tamaño de grano y la composición. Para ello, se han empleado lupa de mano, lupa binocular, ácido clorhídrico diluido para detectar la presencia de carbonatos, patrones de estimación visual para determinar porcentajes relativos de los distintos componentes y tamaños de grano y cartas de color Munsell para establecer de manera semicuantitativa la tonalidad de la roca.

El segundo nivel corresponde a un estudio microscópico de las distintas muestras. Se ha llevado a cabo mediante petrografía óptica de luz transmitida. La técnica consiste en elaborar una lámina delgada de arenisca de 30 μm de espesor y montarla sobre un porta. Esta preparación se observa mediante un microscopio de luz transmitida. El aparato dispone de una fuente de iluminación y un juego de lentes y filtros que dirigen la luz, de manera que, polarizada, atraviesa la muestra. Con 30 μm de espesor, los distintos componentes del material suelen ser transparentes y, en función de su composición y cristalinidad, presentan un comportamiento distintivo que permite identificarlos.

La determinación de los porcentajes de los distintos componentes se realizó mediante conteo de puntos. Este método consiste en desplegar una malla de puntos con un espaciado constante sobre la superficie de la lámina, determinando en cada uno de ellos su composición. Para ciertos parámetros como la selección y la esfericidad y redondez de los fragmentos de árido, se han empleado una serie de valores procedentes de la comparación con gráficas de estimación visual (más concretamente las contenidas en Beard y Weyl, 1977). Los resultados se trasladan a una ficha y se extraen los distintos porcentajes que expresan las relaciones entre los distintos componentes. De esta forma se obtiene con más fiabilidad la distribución y características de los elementos que configuran la roca.

Se han estudiado las variedades de roca empleadas en los ensayos posteriores. También se ha observado al microscopio una muestra procedente de un monumento de la zona para poder establecer una comparativa entre piedra original y de cantera.

Las muestras analizadas han sido:

- JA.1: Variedad "Jabaluna", procedente de Baeza.
- JA.2: Variedad "Viva", procedente de Sabiote.
- JA.3: Variedad "Franca", procedente de Sabiote.
- JA.4: Variedad "Viva", procedente de Porcuna.
- JA.5: Variedad "Franca", procedente de Porcuna.
- JA.B.5: Muestra de arenisca empleada en monumento. Arco de Villalar (Baeza).

Por último, de las variedades de roca de cantera se han realizado análisis químicos de roca total. Se ha obtenido el residuo insoluble de la muestra frente a ataque ácido, el porcentaje de CaO, MgO y Fe₂O₃ mediante análisis químico y el porcentaje de H₂O, CO₂ y Materia orgánica mediante pérdidas al fuego.

Para ello en primer lugar se procedió a la molienda de las rocas en un molino de aros con mortero de acero hasta un tamaño de unas 100 µm.

Las muestras se trataron mediante una extracción clorhídrica efectuada a partir de alícuotas de unos 250 mg de muestra a las que se añadió 100 ml de HCl 0'8 N, en agitación continua durante dos horas a 50 °C. La solución resultante de este ataque se filtró con papel cuantitativo de bajo contenido en cenizas, se ajustó a volumen y se almacenó para su análisis. El Residuo Insoluble retenido en el papel de filtro se sometió a una temperatura de 900 °C para calcinar el papel y poder cuantificar el residuo resultante.

Las determinaciones analíticas de los cationes se realizaron mediante espectrómetro de absorción atómica modelo Perkin-Elmer 2380.

Por último, se calcularon las pérdidas de masa resultantes de someter a entre 10 y 15 gramos de muestra molida a temperaturas de 200, 500 y 900 °C.

De esta manera se calculó el porcentaje de agua total, de materia orgánica y de dióxido de carbono respectivamente.

Comportamiento hídrico

a) Absorción de agua (norma de referencia: UNE 22-182-85 modificada)

El objetivo consiste en medir la cantidad de agua que se introduce en la probeta una vez sumergida totalmente en agua destilada y a presión atmosférica, así como su dinámica de penetración. Mediante este ensayo, se obtiene una aproximación al sistema poroso de la roca, a la cantidad de humedad que puede penetrar en la roca y, por tanto, a su resistencia en el deterioro. El método de ensayo consiste en desecar totalmente las probetas a 105 °C, enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente en desecador, pesar para obtener el peso seco inicial (P_i) y, posteriormente sumergirlas en agua. Se ha tomado como referencia de tiempo 0 el momento en el que se introduce la probeta en el agua. Como además resulta relevante conocer la dinámica de penetración del agua en la roca, se realizaron pesadas a intervalos definidos hasta que se alcanzó la saturación total de las probetas (diferencia entre dos pesadas sucesivas inferior al 0,1% del peso de la probeta).

Finalizado el ensayo con la saturación total de la probeta se tomó el peso de saturación (P_f) y el peso de la probeta sumergida en agua (pesada hidrostática, P_h). Con estas tres medidas (pesos inicial y final y pesada hidrostática) se definen los siguientes coeficientes que permiten establecer una comparativa entre los distintos tipos de roca.

El *Coefficiente de absorción* se obtiene de la diferencia entre el peso de la probeta saturada y el peso de la probeta en seco, y dividida por este último. Este coeficiente se expresa en forma de tanto por ciento respecto al peso inicial de la probeta. La variación de este coeficiente ha sido tomada como referencia y representada en una gráfica en función del tiempo.

$$\text{Coeficiente absorción} = \frac{(P_f - P_i)}{P_i} * 100$$

El *Volumen aparente* expresa el volumen de la probeta, considerándola un volumen sólido, sin huecos; es decir el volumen limitado por las caras de la probeta. Se puede calcular directamente midiendo las dimensiones de la probeta o bien mediante la siguiente relación expresada en kg/m^3 .

$$\text{Volumen aparente} = P_f - P_h$$

La *Densidad aparente* consiste en dividir el peso en seco por la diferencia entre el peso de la probeta saturada y el valor de la pesada hidrostática. Corresponde a la densidad del material considerando su volumen aparente como volumen.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P_i}{P_f - P_h}$$

La *Densidad real* representa la densidad del material sólido de la probeta. Se obtiene de la relación entre el peso inicial y la diferencia entre el peso inicial y el valor de la pesada hidrostática.

$$\text{Densidad real} = \frac{P_i}{P_i - P_h}$$

Por último, la *Porosidad abierta* o porosidad accesible al agua líquida expresada como la relación entre el volumen de poros abiertos y el volumen aparente.

$$\text{Porosidad abierta} = \frac{P_f - P_i}{P_f - P_h} * 100$$

Se han utilizado 20 probetas cúbicas de 5 centímetros de arista, divididas en cinco series de cuatro probetas. Cada una de estas series corresponde a una variedad litológica distinta de las canteras muestreadas. Las siglas de las probetas utilizadas son:

- JA-1.1 a JA 1.4: Variedad “Jabaluna”, procedente de Baeza.
- JA-2.1 a JA 2.4: Variedad “Viva”, procedente de Sabiote.
- JA-3.1 a JA 3.4: Variedad “Franca”, procedente de Sabiote.
- JA-4.1 a JA 4.4: Variedad “Viva”, procedente de Porcuna.
- JA-5.1 a JA 5.4: Variedad “Franca”, procedente de Porcuna.

b) Desorción de agua líquida a presión atmosférica y temperatura ambiente

El ensayo ha consistido en, una vez saturadas las probetas en agua (punto final del ensayo de absorción), empezar el proceso de secado a temperatura controlada mediante estufa. Durante el mismo se ha controlado la variación de peso según intervalos de tiempo determinados, siempre a temperatura ambiente y a presión atmosférica. De esta forma se define cual es la cinética de secado de la roca, controlando el tiempo que necesita y la cantidad de agua que puede quedar retenida en su interior. Además, este ensayo ha tenido lugar con unas condiciones aproximadas al proceso natural que sufre el monumento.

Las probetas utilizadas son las mismas que las empleadas en el ensayo de absorción de agua líquida:

- JA-1.1 a JA 1.4: Variedad “Jabaluna”, procedente de Baeza.
- JA-2.1 a JA 2.4: Variedad “Viva”, procedente de Sabiote.
- JA-3.1 a JA 3.4: Variedad “Franca”, procedente de Sabiote.
- JA-4.1 a JA 4.4: Variedad “Viva”, procedente de Porcuna.
- JA-5.1 a JA 5.4: Variedad “Franca”, procedente de Porcuna.

Resistencia frente al deterioro.

Este tipo de ensayos (ensayos de envejecimiento acelerado) trata de simular las condiciones que afectan al monumento. Cada uno de ellos provoca un tipo de deterioro concreto, pero con unas condiciones extremas que lo inducen con una velocidad mayor que la natural. De esta manera, se produce en un corto periodo de tiempo un efecto muy alto y se puede establecer fácilmente una comparativa entre los resultados. En nuestro caso, como uno de los procesos negativos más generalizados se produce por la precipitación de sales ligadas a humedades, se ha empleado el siguiente ensayo.

Resistencia a la cristalización de sales (norma de referencia: RILEM 1980, V.1b)

Este ensayo pretende simular la alteración provocada por la presión de cristalización de las sales que, contenidas en las humedades, pueden afectar al sustrato. En concreto, se evalúa la acción destructiva del sulfato de sodio decahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$). Este mineral se encuentra formado por una molécula de gran volumen y que genera una elevada presión al cristalizar en los poros de la roca.

El ensayo consiste en una serie de 15 ciclos de 24 horas. Se sumergen las probetas en una disolución de sulfato sódico decahidratado diluido al 14%, durante 4 horas. Seguidamente se introducen en una estufa a 105 °C durante 16 horas y, por último, se dejan enfriar las probetas en un desecador a temperatura ambiente durante 4 horas, para evitar los deterioros debidos al choque térmico.

Después de cada ciclo se realiza una pesada, para observar si las probetas han ganado o han perdido masa. Así, los resultados se expresan como diferencia de masa relativa respecto al peso inicial.

Tras 15 ciclos, se extrajeron las sales del interior de las muestras sumergiéndolas en agua destilada durante una semana. El agua destilada de este baño se renovaba con regularidad. Posteriormente, se desecan las muestras en estufa, se dejan enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se obtiene el peso final (P_f).

La disminución de peso en las muestras aparece reflejada en forma de índice de resistencia a la cristalización de sales (C) y corresponde a la diferencia entre su peso inicial (P_i) y su peso final, dividida por el peso inicial. Este valor se multiplica por 100 y el coeficiente queda expresado en tanto por ciento.

$$C = \frac{(P_f - P_i)}{P_i} * 100$$

Durante todo el ensayo se ha llevado a cabo un registro fotográfico de la evolución del deterioro de las probetas.

Se han utilizado 15 probetas cúbicas de 5 centímetros de arista, tres por cada tipo litológico de las canteras muestreadas. Sus siglas son:

- JA-1.4 a JA 1.6: Variedad "Jabaluna", procedente de Baeza.
- JA-2.4 a JA 2.6: Variedad "Viva", procedente de Sabiote.
- JA-3.4 a JA 3.6: Variedad "Franca", procedente de Sabiote.
- JA-4.4 a JA 4.6: Variedad "Viva", procedente de Porcuna.
- JA-5.4 a JA 5.6: Variedad "Franca", procedente de Porcuna.

II.3.- Petrología

A continuación desglosamos las principales características de las muestras encontradas mediante los distintos análisis petrológicos (nivel macro y microscópico de descripción y análisis químicos de roca total). La información aquí recogida se completa con el Anexo I, que recoge láminas de fotografías macro y microscópicas, fichas con los datos extraídos y, al final de este capítulo, dos tablas comparativas que resumen los datos obtenidos.

- Jabaluna (Baeza) JA-1:

A simple vista, es una arenisca de grano fino (0,25 mm) y tamaño de grano homogéneo (Anexo I. Lámina 1. Fotografía 01). Presenta una elevada efervescencia con HCl que implica un alto porcentaje de calcita. Es una roca muy coherente y densa y poco porosa. Tiene un color según el sistema Munsell 10YR 5/3 (marrón amarillento) y 5GY 6/1 (gris verdoso medio). Este contraste de colores se debe a la existencia de una zona oxidada y otra reducida y a la presencia de minerales ricos en hierro. Se observa una laminación milimétrica muy poco marcada. Tiene una costra superficial anaranjada carbonatada de alteración.

Al microscopio (Tabla II.1), corresponde a una arenisca con un elevado porcentaje de clastos (72%) y muy cementada (26%), lo cual explica su baja porosidad (2%). Los clastos de la arenisca (esqueleto) se componen de fragmentos calcíticos (40% del esqueleto), dolomíticos (24%) y de cuarzo (25%). En mucha menor medida aparecen otras litologías (11%) como óxidos de Fe, glauconita y feldespatos. Esta composición permite clasificarla como calclitita (Lámina 3. Fotografías 09 y 10).

Los análisis químicos concuerdan con la distribución de elementos anteriormente descrita (Tabla II.2). Elevado porcentaje (relativo frente al resto de las muestras) de calcio, magnesio y hierro, dada la alta presencia (también relativa) de minerales como calcita (rica en Ca y presente como cemento y como clastos), dolomita (rica en Mg) y óxidos de hierro y glauconita que aportan Fe. Frente a estos elevados porcentajes, tiene un bajo porcentaje de residuo insoluble o elementos resistentes a un ataque ácido conformados generalmente por fragmentos silíceos.

- Viva (Sabiote) JA-2:

En muestra de mano, se clasifica como arenisca de grano medio (0,3 mm) con un tamaño de grano homogéneo (Lámina 1. Fotografía 02). Presenta una elevada efervescencia con HCl. Es una roca muy coherente y densa y poco porosa. Tiene una tonalidad 10YR 5/3 (marrón amarillento). No se observa laminación. Se aprecia una banda de 1 cm de aspecto algo diferente, con mayor porosidad y pirolusita (óxido de manganeso) y, probablemente, debida a la meteorización (Lámina 1. Fotografía 03). También aparece una costra blanca calcárea de alteración superficial.

Al microscopio (Tabla II.1), corresponde a una arenisca con un porcentaje medio de clastos (65%) y muy cementada (31%), lo cual explica su baja porosidad (4%). Por orden de abundancia, los clastos de la arenisca se componen de fragmentos calcíticos (40% del esqueleto), de cuarzo (38%) y dolomíticos (11%). En mucha menor medida, aparecen otras litologías (11%) como óxidos de Fe, glauconita y feldespatos. Esta distribución permite clasificarla como calcilita (Lámina 3. Fotografías 11 y 12).

Tiene un elevado porcentaje de calcio e intermedio de magnesio y hierro (Tabla II.2). Esto se debe a la alta presencia de minerales como calcita (rica en Ca) y a la alta presencia, aunque menor respecto al caso anterior de dolomita y óxidos de hierro y glauconita. Por último, tiene un porcentaje intermedio de residuo insoluble, ya que el porcentaje de elementos silíceos (cuarzo y feldespatos) ha aumentado respecto a JA-1.

- Franca (Sabiote) JA-3:

A escala macroscópica la muestra es de arenisca de grano fino (0,25 mm) con un tamaño de grano homogéneo y sin laminaciones aparentes. Tiene una elevada efervescencia con HCl. En este caso es una roca poco densa pero coherente (Lámina 1. Fotografía 04). Tiene una tonalidad 10YR 7,5/5 (naranja amarillento).

La lámina delgada (Tabla II.1) corresponde a una arenisca con un porcentaje intermedio de clastos (62%), poco cementada (11%) y con abundante matriz arcillosa (17%). El resto se debe a porosidad de tamaño submilimétrico (10%). Los clastos se componen de fragmentos de cuarzo (48%), dolomíticos (27%) y calcíticos (17%). En mucha menor medida aparecen otras litologías (8%) como óxidos de Fe, glauconita y feldespatos. Esta distribución permite clasificarla como calcilita (Lámina 4. Fotografías 13 y 14).

Los análisis químicos muestran un elevado porcentaje de residuo insoluble, debido a la alta presencia de fragmentos silíceos y matriz y a la baja proporción de cemento calcítico (Tabla II.2). Tiene un elevado porcentaje de magnesio e intermedio de hierro, dada la alta presencia de dolomita y a la menor proporción de minerales ricos en Fe que en los casos anteriores. Esta muestra se caracteriza, además, por su bajo porcentaje de Ca debido a su escaso cemento.

- Viva (Porcuna) JA-4:

Se trata de una arenisca de grano fino (0,2 mm) con una laminación milimétrica muy marcada, definida por cambios en la proporción de matriz y composicionales (Lámina 2. Fotografías 05 y 06). Presenta una elevada efervescencia al contacto con HCl. Es una roca muy coherente y densa y poco porosa. Tiene un color 10YR 7/6 (naranja amarillento medio), con variaciones en su intensidad por la laminación. Se observa un plano de concentración de cemento férrico (Lámina 2. Fotografía 07) debido a la

alteración (lavado de la zona superior). También se aprecian dendritas de pirolusita.

Al microscopio (Tabla II.1), corresponde a una arenisca con un porcentaje intermedio de clastos (64%) y muy cementada (33%), lo cual explica su baja porosidad (3%). Los clastos de la arenisca se encuentran compuestos por fragmentos calcíticos (65%), de cuarzo (17%), dolomíticos (9%) y fragmentos líticos metamórficos (8%). Esta distribución permite clasificarla como calcarenita (Lámina 4. Fotografías 15 y 16 y Lámina 5. Fotografía 17).

Esta muestra se caracteriza por su reducido porcentaje de residuo insoluble y por su proporción muy alta de Ca (Tabla II.2). Estos hechos se relacionan con la baja presencia de fragmentos silíceos y por la alta de calcita, que aparece tanto en forma de cemento como de clasto. También destaca el reducido porcentaje de magnesio y de hierro, debido a la escasa presencia de los minerales ricos en estos elementos y existentes en las anteriores muestras.

- Franca (Porcuna) JA-5:

En muestra de mano, se observa una arenisca de grano fino (0,2 mm) con una laminación muy marcada (Lámina 2. Fotografía 08). Presenta una elevada efervescencia con HCl. Es una roca poco coherente y densa. Tiene una tonalidad general 10YR 8/4 (naranja pálido) que corresponde a las zonas más ricas en matriz de la laminación y otro color, 5GY 6/1 (gris verdoso medio) en las otras bandas. Se observan dendritas de pirolusita.

Al microscopio (Tabla II.1), corresponde a una arenisca con un porcentaje intermedio de clastos (62%), muy poco cementada (7%) y con un porcentaje intermedio de matriz (8%). Sin embargo, destaca por su elevado porcentaje de porosidad cercano al 24%. Los clastos de la arenisca se componen, en su mayoría, por fragmentos calcíticos (54%) y de cuarzo (28%). En menor medida, aparecen otras litologías como fragmentos líticos metamórficos (11%) y fragmentos dolomíticos (4%). Esta distribución permite clasificarla como calcarenita (Lámina 5. Fotografías 18 y 20 y Lámina 6. Fotografía 21).

Los análisis químicos son similares a los de la muestra anterior para los elementos magnesio y hierro (Tabla II.2). El hecho de estar escasamente cementada provoca un descenso en el porcentaje de Ca y un aumento del porcentaje de residuo insoluble, frente a la muestra JA-4.

- Roca original procedente del Arco de Villalar (Baeza) JA.B.5:

En esta muestra exclusivamente se ha realizado un estudio mediante microscopía (Tabla II.1). Los resultados indican que se trata de una arenisca de grano medio, con un elevado porcentaje de clastos (72%) y porosidad (24%) y un reducido porcentaje de cemento (4%). La composición de los primeros consta de fragmentos calcíticos y dolomíticos

(39% cada uno) y fragmentos de cuarzo (22%). Esta distribución permite clasificarla como calcilita (Lámina 6. Fotografías 22 a 24).

El elevado porcentaje de porosidad puede explicarse a través de dos hipótesis. La primera es que proceda de la disolución del cemento calcítico, por haber estado expuesta a la intemperie. La segunda es que fuera una porosidad original de la roca. Las observaciones apuntan a esta última, ya que no se han encontrado formas de disolución en toda la lámina. Algunos de los fragmentos fósiles se encuentran con su caparazón calcítico completo y con la porosidad intragranular original. Si se hubiera disuelto el cemento de su interior, la disolución también hubiera afectado al caparazón.

Muestra		% Esqueleto	% Cemento Calcítico	% Cemento Férrico	% Matriz	% Poros	% Q+Fto+Otros	% Fragmentos de roca carbonatada	% Fragmentos de roca no carbonatada	Do/ Ca	% Total Carbonatos
"Jabaluna"	JA-1	71,72	25,07	1,17	*	2,04	25,94	45,2	0,58	0,324	70,27
"Viva" (Sb)	JA-2	65,07	30,35	0,44	0,43	3,71	31,88	31,66	1,53	0,096	62,01
"Franca" (Sb)	JA-3	61,83	10,65	*	17,46	10,06	34,32	24,26	3,25	0,71	34,91
"Viva" (Pc)	JA-4	64,33	32,83	*	*	2,84	11,6	47,92	4,81	0,066	80,75
"Franca" (Pc)	JA-5	61,55	6,99	*	7,57	23,89	18,83	35,72	7	0,052	42,71
Arco Villalar	JA-B5	72,53	3,56	*	*	23,91	15,61	56,32	0,6	0,88	59,88

Tabla II.1.- Composición mineralógica de las distintas rocas observadas al microscopio (Sb: Sabiote, Pc: Porcuna, Q: cuarzo, Fto: Feldespato, Do: Dolomita, Ca: Calcita).

Muestra		% H ₂ O	% M. Org.	% CO ₂	% R. I.	% CaO	% MgO	% Fe ₂ O ₃	% CO ₃ ²⁻ (Ca, Mg)
"Jabaluna"	JA-1	0,54	0,65	34,59	20,21	38,15	4,92	0,9	77,66
"Viva" (Sb)	JA-2	0,55	0,64	32,43	24,07	38,08	2,47	0,73	72,98
"Franca" (Sb)	JA-3	1,12	1,38	25,04	39,49	26,43	5,29	0,43	56,76
"Viva" (Pc)	JA-4	1,13	0,83	34,33	18,1	43,8	0,6	0,33	78,73
"Franca" (Pc)	JA-5	1,39	0,84	29,1	29,5	36,39	0,69	0,2	66,18

Tabla II.2.- Resultados de los análisis químicos efectuados (M. Org.: materia orgánica; R. I.: residuo insoluble).

II.4.- Petrofísica

Se han dividido los resultados en dos grandes bloques. El primero hace referencia al comportamiento hídrico de los distintos tipos de roca, incluyendo los resultados de los ensayos de absorción y desorción. El segundo se centra en la respuesta frente al deterioro del ensayo de cristalización de sales.

La información de este apartado se completa con el Anexo II, que contiene las gráficas de variación del peso frente al tiempo, junto a láminas fotográficas que recogen la evolución del deterioro durante el ensayo.

1.- Comportamiento hídrico

Los valores obtenidos para los distintos coeficientes y variedades se encuentran recogidos en la siguiente tabla (V: "Viva", F: "Franca"):

	Jabaluna	Sabiote V	Sabiote F	Porcuna V	Porcuna F
Volumen aparente	126,64	134,53	123,59	137,32	120,62
Densidad aparente	2.650,23	2.526,07	1.854,75	2.461,64	1.845,98
Densidad real	2.702,02	2.624,44	2.508,28	2.636,93	2.380,97
Porosidad abierta	1,92	3,75	26,05	6,65	22,47
Coefficiente absorc.	0,72	1,48	14,02	2,70	12,15

Como se puede apreciar existen grandes diferencias en cuanto a su comportamiento hídrico. Las variedades "Jabaluna" (procedente de Baeza) y "Viva" (de Sabiote y Porcuna) tienen una reducida porosidad accesible al agua, oscilando entre valores inferiores al 2% e inferiores al 7%; frente a los elevados valores (superiores al 22%) alcanzados por la variedad "Franca" (de Sabiote y Porcuna).

La comparación de las gráficas que contienen la cinética de penetración del agua en el interior de las probetas permite observar, claramente, el distinto comportamiento entre los dos grupos diferenciados con anterioridad (Anexo II. Gráfica II.1). Las variedades "Jabaluna" y "Viva" presentan una gráfica muy tendida y situada en valores inferiores al 3%. Por un lado, la escasa pendiente de esta gráfica representa la baja velocidad de penetración del agua (variaciones de peso muy pequeñas frente al tiempo) y por otro, el bajo porcentaje absoluto apunta al reducido porcentaje absoluto de absorción de agua. Por el contrario, las gráficas obtenidas para la variedad "Franca" destacan por los altos valores absolutos alcanzados y por la elevada velocidad con la que ha penetrado el agua en su interior. Las probetas habían alcanzado valores próximos al peso de saturación en menos de 30 minutos. En estas gráficas, además, se pueden distinguir dos tramos distintos; el primero corresponde a una tendencia lineal de pendiente muy elevada y el segundo se caracteriza por una recta (aproximada) de pendiente baja.

El análisis de todos estos datos permite extraer una serie de conclusiones sobre el sistema poroso de la roca.

- La primera es que existe una relación directa entre variación de peso y porcentaje de poros *conectados* en el interior de la roca. A mayor variación absoluta, mayor porcentaje de poros conectados.
- La segunda es la velocidad con la que penetra el agua. La variedad “Franca” tiene un tramo inicial de gran pendiente que representa un elevado porcentaje de poros y, probablemente, de gran tamaño, ya que es necesaria una gran interconexión para que el agua circule tan rápido en el interior de la roca. Una vez saturados de agua estos poros con una gran interconexión (primer tramo de la gráfica), empiezan a saturarse los de menor tamaño con lo cual el aumento de peso se ralentiza y la pendiente de la gráfica disminuye drásticamente. Respecto a las otras variedades, se observa como su gráfica presenta una pendiente casi homogénea. De esta morfología cabe inducir un sistema poroso formado por huecos de tamaño pequeño y homogéneo, y con escasa interconexión entre sí.

El ensayo de desorción nos ofrece una información que redonda en estos aspectos (Gráfica II.2). En las variedades “Jabaluna” y “Viva” tenemos una pérdida del agua retenida en sus poros muy lenta, frente a la observada en la variedad “Franca”. Este dato reafirma la observación de que el sistema poroso es muy diferente, tanto en cantidad como en tortuosidad, siendo el porcentaje y el grado de interconexión mucho más elevados en la variedad “Franca”. También se puede apreciar que el agua retenida al finalizar el ensayo es muy poca, aspecto que resulta positivo para todos los tipos litológicos.

Por último, estos datos concuerdan con la bibliografía previa existente (Sebastián, E. et al., 1995). Estos autores realizaron un estudio del sistema poroso mediante ensayos petrofísicos y porosimetría de inyección de mercurio, exclusivamente con las variedades “Viva” y “Franca”. Los resultados cuantitativos coinciden con los obtenidos aquí, estableciendo además una serie de rangos de tamaño medio de poros para cada una de las variedades. Para la variedad “Viva”, este tamaño se situaría entre 170 y 197 nm y en la variedad “Franca” en el rango que oscila entre 10.470 y 11.930 nm.

2.- Comportamiento frente al deterioro

Los resultados obtenidos aparecen contenidos en la siguiente tabla (V: “Viva”, F: “Franca”).

	Jabaluna	Sabiote V	Sabiote F	Porcuna V	Porcuna F
Coefic. Sales	-0,03 %	0,07 %	-41,22 %	-5,03 %	-19,64 %

Los valores negativos reflejan la pérdida de material sufrida por cada tipo de material (media de resultados de las tres probetas). El coeficiente expresa esta pérdida de material en forma de tanto por ciento respecto al peso inicial de la muestra.

Los resultados de este ensayo están íntimamente ligados a las tendencias descritas en el apartado anterior (Gráfica II.3). En concreto, se observa una relación directa entre el porcentaje de porosidad abierta y el deterioro sufrido por las probetas. Por lo tanto y a grandes rasgos, las variedades “Jabaluna” y “Viva” (Lámina 1. Fotografías 01 a 04) presentan un deterioro mucho menos acusado que la variedad “Franca” (Lámina 2. Fotografías 05 a 08).

En detalle, si que se aprecian diferencias dentro de estos grandes grupos. Las variedades “Jabaluna” y “Viva” procedente de Sabiote se han deteriorado menos que la variedad “Viva” procedente de Porcuna, ya que esta última variedad presenta una anisotropía planar en forma de laminación paralela de escala milimétrica. En estos planos de anisotropía, más porosos que el resto de la roca, se ha ido acumulando el proceso de cristalización de las sales solubles y con ello su deterioro. Este hecho ha generado la fractura de la roca en forma de lámina. Este fractura se ha generado en el proceso de retirada de las sales incluidas en el interior de la roca (Lámina 3. Fotografías 09 a 12).

Por otro lado, también se aprecia una diferencia en el comportamiento de la piedra “Franca” procedente de Sabiote frente a la proveniente de Porcuna. La primera presenta un deterioro más elevado que la segunda. Sin embargo, este deterioro se distribuye homogéneamente en las probetas de piedra “Franca” de Sabiote (Lámina 2. Fotografías 05 a 06) mientras que, en el otro tipo, la distribución no es uniforme. En este caso, la alteración viene determinada por la presencia de una laminación composicional y textural que induce al deterioro a distribuirse en forma de bandas, progresando más en las zonas menos resistentes y menos en las más duras (Lámina 2. Fotografías 07 a 08).

II.5.- Conclusiones generales de la piedra

1. En cuanto al tipo de piedra, se trata de areniscas (calcarenitas y calclititas), formadas por clastos carbonatados y silíceos y un porcentaje variable de cemento calcítico.
2. Según la proporción relativa de los distintos componentes podemos establecer diferencias en función de la cantera de origen y de la variedad litológica.

En función de la cantera:

- La cantera de Sabiote tiene un porcentaje de fragmentos silíceos mayor que la de Porcuna y la de Baeza tiene unas características intermedias.
- Las canteras de Baeza y Sabiote, tienen mayor proporción de fragmentos dolomíticos que Porcuna.
- Las canteras de Baeza y Sabiote (sobre todo en su variedad "Viva") tienen un mayor porcentaje de hierro, bien como hierro ferroso en la red de la calcita, como hierro ferroso y férrico en la glauconita o bien como Fe^{3+} en forma de óxidos e hidróxidos dispersos.
- La cantera de Porcuna presenta una laminación muy marcada frente a las otras rocas.

En función de la variedad de roca:

- Las variedades "Jabaluna" y "Viva" son muy poco porosas y con un sistema de huecos constituido por microporos. Presentan un porcentaje elevado de cemento calcítico y consecuentemente menor porcentaje relativo de residuo insoluble. A efectos prácticos, se pueden considerar que son el mismo tipo de roca, con la matización de que "Jabaluna" es una variedad menos oxidada, lo cual se traduce en un color gris-azulado que no está presente en la piedra "Viva".
- La variedad Franca es un tipo de roca con porosidad elevada constituida por macroporos, aunque sigue teniendo un porcentaje de microporos semejante al de la "Viva". Este doble sistema de porosidad es su mayor debilidad, puesto que los macroporos facilitan la penetración de agua y sales en los microporos, que es donde estos componentes actúan deteriorando la roca.

3. La macroporosidad y el cemento carbonatado se presentan en relación inversa, ya que el segundo precipita a expensas de destruir la primera. No conocemos el patrón de variación de la microporosidad.
4. En cuanto al deterioro las variedades "Jabaluna" y "Viva", presentan un muy buen resultado frente a la variedad "Franca". Este comportamiento esta relacionado con la macroporosidad. Un alto porcentaje de macroporosidad combinada con abundantes microporos ocasiona una rápida y abundante absorción de agua y un elevado deterioro frente a la cristalización de sales.

La variedad "Franca" de Sabiote tiene mucho mayor deterioro que la variedad "Franca" de Porcuna. La morfología del deterioro también es diferente: en las probetas de Sabiote el deterioro se distribuye homogéneamente mientras que en las de Porcuna progresa por las láminas de mayor porcentaje de matriz y fragmentos calcíticos.

La variedad "Viva" de Porcuna, presenta mayor deterioro que la variedad "Jabaluna" y "Viva" de Sabiote, debido a la acumulación del deterioro en un plano de debilidad marcado por la laminación.

5. La muestra procedente del monumento tiene características intermedias entre "Sabiote" y "Porcuna", ya que si bien presenta un bajo porcentaje en fragmentos silíceos también tiene un elevado porcentaje de fragmentos dolomíticos y una elevada porosidad. El alto porcentaje de porosidad existente en la roca es original (es decir, no ha sido aumentado por procesos de disolución), lo cual indica que pertenece a la variedad "Franca". En cualquier caso estos dilemas apuntan a que en la construcción de los edificios históricos se emplearon canteras que no hemos estudiado.
6. Se puede establecer una gradación en calidad del material para la construcción. La variedad "Jabaluna" y "Viva" de Sabiote, presentan una muy buena calidad, seguidas por la variedad "Viva" de Porcuna. La variedad "Franca" de Porcuna presenta una inferior calidad con respecto a las anteriores, pero a su vez tiene mejor calidad que la variedad "Franca" de Sabiote.

Muestras		Petrografía			Análisis Químico				Ensayos Hídrico-Deterioro	
		% Q	% Carbonatos	% Cemento Calcítico	Residuo Insoluble	Mg/Ca	% Fe ₂ O ₃	Materia Orgánica	% Porosidad Abierta	Coefficiente Sales
"Jabaluna"	JA-1	18,07	45,19	25,07	20,21	0,13	0,9	0,65	1,92	-0,03
"Viva" (Sb)	JA-2	24,45	31,66	30,35	24,07	0,065	0,73	0,64	3,75	0,07
"Franca" (Sb)	JA-3	29,58	24,26	10,65	39,49	0,2	0,43	1,38	26,05	-41,22
"Viva" (Pc)	JA-4	11,16	47,92	32,83	18,1	0,013	0,33	0,83	6,65	-5,03
"Franca" (Pc)	JA-5	17,47	35,73	6,99	29,5	0,019	0,2	0,84	22,47	-19,64
Arco Villalar	JA-B.5	15,61	56,32	3,56	*	*	*	*	*	*

Tabla II.5.1.- Resumen de los datos obtenidos mediante las diferentes técnicas utilizadas para la caracterización petrológica del material, la evaluación de su comportamiento hídrico y su resistencia frente al deterioro (el signo negativo indica la pérdida de material en forma de % respecto al peso inicial de la muestra).

Muestras	% Porosidad Abierta	% Porosidad Total (Hg)	% Porosidad < 8 μ	% Porosidad > 8 μ	Tamaño de Poro dominante (μ)	Coefficiente Sales (%)	Flexión (Kg/cm ²)	Compresión (Kg/cm ²)	Residuo Insoluble (%)
Piedra "Viva"	5,2	3,85	100	0	0,13 - 0,26 (33%)	-2,5	+ 890 785	+ 205 184	21,1
Piedra "Franca"	24,3	28,5	37,9	62,1	8 - 16 (55%)	-30,4	+ 99,5 86,5	+ 16,20 14,3	34,5
Piedra "Jabaluna"	1,9	*	*	*	*	0	*	*	20,2

Tabla II.5.2.- Promedio de características petrofísicas para las piedras estudiadas (datos propios y de bibliografía). La Piedra "Jabaluna" puede considerarse, a efectos petrofísicos, como una variedad de la Piedra "Viva". Rojo: Datos obtenidos en el presente estudio. Negro: Datos de Sebastian et Al. (1995). (||: Dirección paralela a la estratificación. +: Dirección perpendicular a la estratificación).

II.6.- Recomendaciones

1. Realizar un estudio petrológico regional de la composición y petrofísica de la arenisca (más detallado que el actual) con dos objetivos:
 - A) Tener criterios composicionales para identificar canteras antiguas.
 - B) Abrir al máximo las posibilidades de comenzar nuevas explotaciones y/o ampliar las ya existentes (ver Anexo I. Tabla II.6.1), con un control de calidad del material. De esta manera, se emplearían las variedades de la zona en las futuras actuaciones de rehabilitación del patrimonio, con lo cual se emplearía el material más similar posible al original y se contribuiría a la economía de la zona.
2. Estudiar la durabilidad de todas las variedades de la arenisca para conocer:
 - A) La influencia en la calidad de la piedra de parámetros composicionales como la relación carbonatos/silicatos, cantidad de dolomita y materia orgánica.
 - B) La influencia en la calidad de la piedra de la cantidad y estado de oxidación del hierro.
 - C) Parámetros que controlan la distribución de porosidades.

Estos problemas se deberían estudiar tanto con estudios petrofísicos mediante probetas de piedra procedente de cantera, como con estudios sobre las variedades empleadas en los edificios históricos. Una vez definida la calidad de las distintas variedades, se puede establecer el uso más adecuado de cada una de ellas (mayor calidad de la roca en zonas más vulnerables al deterioro o que estén sometidas a mayores esfuerzos). Esto permite un mayor aprovechamiento de la piedra de cantera al emplearse también las variedades de menor calidad y un ahorro económico en obra al utilizarse piedra más barata.
3. Estudiar exhaustivamente la composición de la piedra en los edificios de patrimonio histórico con la extracción de micromuestras.
4. Estudiar los tratamientos de mejora más adecuados para cada situación y variedad de piedra.

III. DETERIOROS

III.1. Introducción general

En el centro de la provincia de Jaén, en una Loma circundada por los valles de dos ríos el Guadalquivir y su principal afluente en ésta su cuenca alta el Guadalimar, encontramos Úbeda y Baeza. Se encuentran situadas a unos 750 metros de altitud sobre el nivel del mar, y junto con otros 11 municipios constituye la Comarca de La Loma y las Villas.

Su clima es continental semiárido, con temperaturas elevadas en verano (en las noches estivales refresca) y bajas en invierno, lo que da lugar a una gran amplitud térmica. Las precipitaciones oscilan entre 300 y 886 mm anuales presentándose irregularmente. La precipitación total media en la zona de Úbeda-Baeza hasta el mes de noviembre es de 295,5 mm. Tanto este año como en el 2005 las precipitaciones han sido muy bajas comparadas con otros años en los que se han llegado a alcanzar los 800 mm anuales. La oscilación térmica en un día invernal va desde -3,6 de mínima a 10 °C de máxima. En un día de verano la oscilación térmica va desde 17,7 °C a 41,2 °C. Como se ve la oscilación térmica es mayor en época estival que durante los meses de invierno.

	Temperatura media (°C)	Humedad Relativa media (%)	Precipitación media diaria (mm)	Temperatura máx. media (°C)	Temperatura mín. media (°C)
Enero	5,6	78,6	49,6	12,3	0,4
Febrero	7,3	76	44,8	14,4	1,6
Marzo	11,4	71,6	49,6	19,2	4,8
Abril	16,4	63,9	51	24,6	8,8
Mayo	20,5	49	9,3	29,7	12,5
Junio	24,7	43,7	9	33,4	15,4
Julio	27,8	33,7	0	38,2	16,6
Agosto	26,3	41,2	3,1	36,1	15,9
Septiembre	22,7	49,4	9	31,5	14
Octubre	18,6	60,7	34,1	26,8	11,9
Noviembre	13,4	73,5	36	20,8	7,8
Precip.total			295,5		

Datos desde el 1 de Enero hasta el 20 de Noviembre de 2006, tomados de la página web de la Consejería de agricultura y pesca de la Junta de Andalucía (estación meteorológica 8 situada en Úbeda).

Gráfico 1

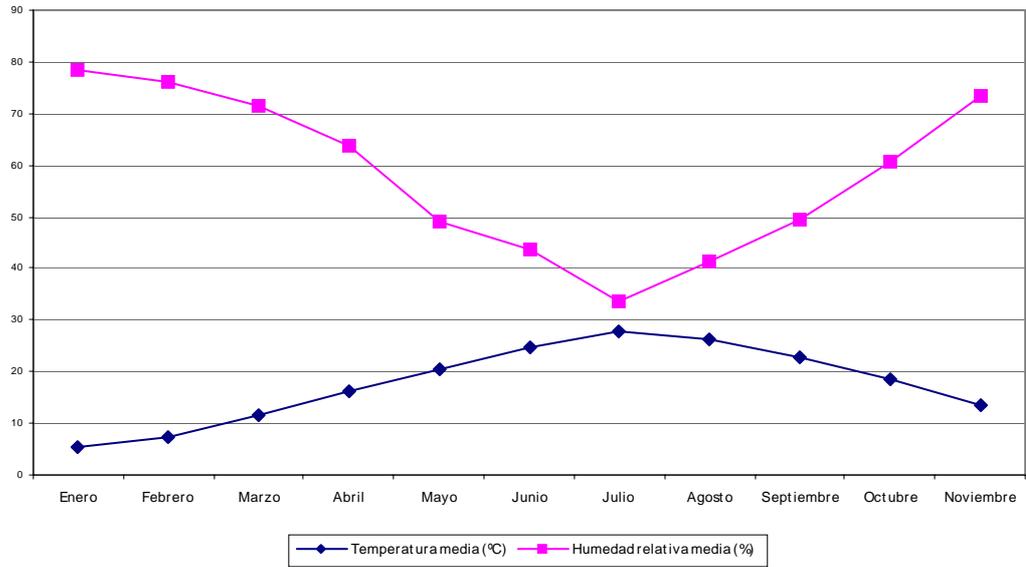
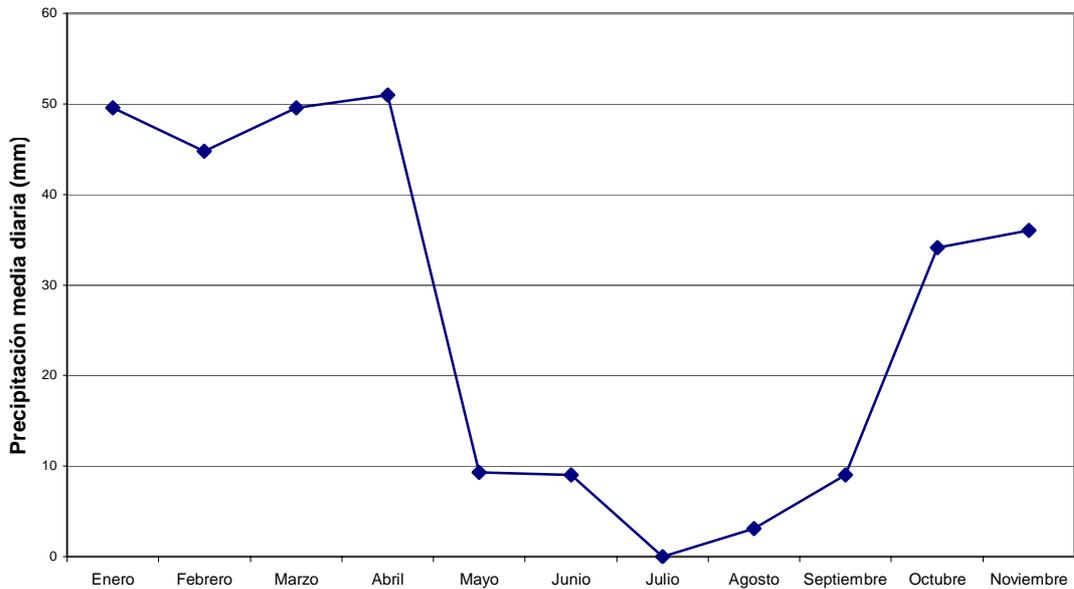


Gráfico 2



En el gráfico 1 se representan las temperaturas (°C) y humedades relativas (%) medias mensuales desde Enero a Noviembre de 2006, y en el gráfico 2 las precipitaciones (mm) medias diarias durante ese mismo período de tiempo.

III.2.- Metodología

En este apartado se desglosan los métodos de estudio orientados a definir los distintos tipos de deterioros existentes, su distribución y su posible origen. Para ello, se realizó una visita previa en la que, por un lado, se perfilaron las características más importantes de los deterioros generales que afectaban a los monumentos de la zona y, por otro lado, se eligieron los monumentos más emblemáticos para su estudio.

Trabajo de campo

Las jornadas de trabajo de campo tuvieron lugar entre el 19 y el 23 de septiembre. El estudio se orientó de manera que permitiera la recogida del máximo número de datos en el menor espacio de tiempo posible. Para ello se diseñaron unas fichas que contenían, en forma de apartados para complementar, las distintas observaciones realizadas anteriormente. En concreto los campos definidos fueron:

- Colonización biológica.
- Humedades.
- Depósitos superficiales.
- Deterioros en zonas de labra.

De esta manera, se obtenían para cada monumento una información organizada y homogénea.

A parte de las descripciones en forma de ficha, se han dibujado “in situ” una serie de croquis que reflejan someramente la distribución de los distintos aspectos contenidos en la ficha. Estas representaciones permiten evaluar de forma aproximada la importancia relativa de los deterioros existentes y, analizando su distribución, establecer su posible origen.

Por último, se ha registrado fotográficamente todos los aspectos de interés.

Microscopía electrónica de barrido (M. E. B.)

Esta metodología permite la observación en detalle de las muestras, así como realizar análisis químicos puntuales. Resulta de especial utilidad para la observación de muestras de pequeño tamaño, como las pátinas superficiales en la piedra.

El instrumento consiste básicamente en un haz de electrones que incide en la muestra recubierta con un material conductor, las distintas señales provocadas sirven para obtener imágenes punto por punto de su superficie. Tenemos dos tipos de imágenes, la de electrones secundarios en la que obtenemos una visión de la superficie “real” y la de electrones retrodispersados en la que la tonalidad de los minerales aparece en función de su composición química. Se ha empleado el equipo JEOL JSM 6400 del servicio de microscopía electrónica de la universidad de Zaragoza. En este caso, además,

el equipo disponía de un detector de energía de rayos X dispersados eXL-10. Este aparato permite realizar análisis químicos muy detallados tanto de zonas puntuales, como de áreas de la muestra.

En este estudio se han analizado un total de 5 muestras procedentes 3 monumentos:

- U.1: Muestra de costra negra desarrollada sobre arenisca. Lado N de la iglesia de San Salvador (Úbeda).
- U.2(m): Muestra de costra negra desarrollada sobre mortero. Portada N de la iglesia de San Salvador (Úbeda).
- U.2(r): Muestra de costra negra desarrollada sobre arenisca. Portada N de la iglesia de San Salvador (Úbeda).
- U.6: Muestra de costra negra desarrollada sobre arenisca. Esquina SE del Palacio de los Condes de Gadiana (Úbeda).
- B.2: Muestra de costra negra desarrollada sobre arenisca. Esquina NO del Arco de Villalar (Baeza).

Difracción de rayos X

La *difracción de rayos X* esta orientada a la determinación de la mineralogía de las sales presentes y sus proporciones relativas. Para ello las sales recogidas mediante raspado con bisturí, se introducen en un difractómetro de rayos X, en el cual un haz de luz incide a diferentes ángulos y mide las reflexiones obtenidas. Cada mineral presenta unas reflexiones características que, en función de su intensidad, permiten deducir el porcentaje de cada componente existente en la muestra.

Se han analizado las siguientes muestras de sales:

- U(23): Lado N del Ayuntamiento (Úbeda).
- B(37): Interior del Convento de San Francisco (Baeza).
- U.5: Lado S del Palacio de los Condes de Gadiana (Úbeda).
- U.7: Lado NE de la Iglesia de San Pablo (Úbeda).
- B.1: Lado SE del Ayuntamiento (Baeza).
- B.6: Lado N de la Catedral (Baeza).

III.3.- Tipos de deterioros y distribución

Se realizó un viaje previo a este estudio, a las ciudades de Úbeda y Baeza para hacer una estimación visual de los deterioros existentes en sus monumentos y elegir edificios tanto de obra civil como religiosa, en los que se representara el conjunto de patologías más frecuentes en dichos edificios. Los monumentos elegidos para la elaboración de este estudio han sido:

En Úbeda:

- Iglesia de San Salvador.
- Ayuntamiento (Palacio Vázquez de Molina).
- Palacio del conde de Guadiana.
- Iglesia de San Pablo.

En Baeza:

- Ayuntamiento.
- Conjunto Casa del Pópulo-Puerta de Jaén-Arco del Villalar.
- Santa Iglesia Catedral.

Se ha llevado a cabo un diagnóstico del estado de degradación de los monumentos seleccionados, describiendo las patologías desarrolladas en las diferentes zonas de sus fachadas. Se ha valorado cualitativa y cuantitativamente la pérdida de material superficialmente.

Se han tenido en cuenta los siguientes aspectos: el grado, tipo y distribución de la colonización biológica; los tipos, situación y morfología de las humedades existentes; tipo, intensidad y distribución del deterioro en zonas de labra y tipo; origen y distribución de depósitos superficiales y por último; los materiales constructivos utilizados.

En el estudio del deterioro de los monumentos nos vamos a encontrar siempre con **colonización biológica** por las condiciones de emplazamiento de los monumentos (exposición al sol, acción de las lluvias, contenido en nutrientes, etc.), que son favorables para la presencia de vida. Los principales grupos de organismos que aparecen en los monumentos de Úbeda y Baeza objeto de nuestro estudio son; líquenes (asociación de alga+hongo), algas verdes (clorífceas), musgos (briofitos) y plantas superiores:

- Los líquenes ejercen un daño químico y físico sobre el sustrato además de un efecto estético negativo. La descomposición mecánica se produce porque los líquenes incrementan su masa conforme crecen, por otro lado, cambian de volumen la humedad ambiental. Los fenómenos de contracción (período seco)-expansión (período húmedo) provocan el deterioro físico del sustrato. Químicamente, los líquenes producen ácidos orgánicos que son responsables de la degradación de la roca. Estos organismos favorecen la condensación de agua y su retención sobre la superficie pétreas.

- Las algas verdes aparecen en lugares iluminados y húmedos, pero al abrigo del sol directo y se asientan en superficies porosas. Su crecimiento está promovido por un alto grado de humedad en el sustrato que colonizan y forman una pátina superficial que a su vez, puede mantener la humedad del material favoreciendo su disolución. Provocan una intensa coloración y cambios texturales, así como favorecen la deposición de polvo, semillas, esporas, etc., y, por consiguiente, el crecimiento de otros organismos. Pueden provocar alteraciones físicas en el sustrato favoreciendo la gelifracción y pueden ejercer una acción de corrosión y perforante.
- Los musgos o briofitos necesitan de un depósito previo de materia para anclarse al sustrato, además de la presencia continua de agua sobre el sustrato preferiblemente poroso. Deterioran los materiales pétreos por mecanismos físicos y químicos.
- La acción de las plantas superiores es de tipo puntual. La alteración es de tipo mecánico y su aparición viene precedida por la acción de la microflora. La presión ejercida por las raíces y el crecimiento y engrosamiento radial pueden causar la fisuración y resquebrajamiento del sustrato.

En cuanto a la **humedad** de un material pétreo, ésta está ubicada en el interior de su sistema poroso. Las humedades detectadas en los monumentos objeto de estudio son: humedades higroscópicas, la obtienen los materiales del aire al atraer las cargas negativas de la superficie del material a las moléculas de vapor de agua del aire y humedad capilar, la cual necesita de una fuente de agua líquida.

La humedad causa el desarrollo de plantas, hongos y bacterias que generan ácidos orgánicos y contribuyen al deterioro. También favorece las transformaciones físicas del material (expansión hídrica, reblandecimiento, entumecimiento y heladicidad) y la alteración química de algunos componentes originales (arcillas, óxidos, sulfatos, etc.). El máximo deterioro se produce en situaciones de alternancia de humectación-secado.

Los depósitos superficiales que se han encontrado son ; eflorescencias salinas y costras negras.

Las **eflorescencias salinas** son productos asociados a las humedades y son el resultado de la evaporación del agua contenida en la fábrica y por ello se concentran en las zonas de máxima evaporación (banda de ascenso capilar y en los centímetros superficiales de la fábrica). Los aniones presentes en la sal nos informan del tipo de agua que se esté evaporando y de cual es su origen.

Las sales producen la degradación mecánica de la roca por efecto de la presión de cristalización ejercida sobre las paredes del material al crecer en el interior de sus poros. Las sales son materiales fuertemente higroscópicos y cambian de fase con los cambios de humedad el aire. Este es un mecanismo

adicional de deterioro pues aporta a la roca unas cantidades importantes de humedad que el material por sí solo no alcanzaría nunca. En ocasiones se consigue eliminar la fuente de humedad pero el material no llega a secarse nunca si no se extraen las sales que contiene. En la zona próxima a la fuente de agua, el material se deteriora por alteración y disolución de sus componentes originales con precipitación de sales en toda la superficie, esto produce arenización/ pulverización de la roca que se deteriora homogéneamente y de forma paralela a la superficie de contacto con el aire.

Las **costras negras** se forman en zonas al abrigo del impacto directo de la lluvia (bajo los rebordes de las ventanas, en cavidades o ángulos y en las proximidades de las zonas lavadas) pero que reciben agua indirectamente y en las que no existe escorrentía.

Existen también zonas de alta porosidad que separan la roca de la costra negra y que se llaman costras grises. Éstas son depósitos de carbonillas y partículas en zonas secas. La diferencia con las costras negras, es que en las grises las reacciones químicas están muy reducidas por falta de humedad. Las zonas grises se encuentran bajo las arcadas, en los pórticos, etc.: lugares al abrigo de la lluvia y de la escorrentía pero no de la condensación y de las nieblas; hay pues tránsitos graduales hacia las zonas negras.

Una vez definidas de forma general las diferentes patologías que vamos a encontrar en los monumentos pasamos a realizar, primero la descripción histórico-artística y segundo la descripción de dichas patologías de forma detallada para cada monumento. El texto se complementa con referencias a fotografías contenidas en el Anexo III, que lo ilustran gráficamente.

La descripción de los edificios se va a realizar siguiendo un orden dependiendo de la intensidad del deterioro. De esta manera podemos ordenar los monumentos de Úbeda de mayor a menor grado de deterioro:

1. Iglesia de San Pablo.
2. Palacio del conde de Guadiana.
3. Iglesia de San Salvador.
4. Palacio Vázquez de Molina (Ayuntamiento de Úbeda).

Siguiendo este orden, en el caso de Baeza sería:

1. Santa Iglesia Catedral.
2. Conjunto Casa del Pópulo-Puerta de Jaén-Arco del Villalar.
3. Ayuntamiento.

El material utilizado en la construcción de los monumentos de Úbeda y Baeza ha sido, sillares de arenisca de las variedades “Viva” y “Franca”, en la mayoría de edificios y utilizadas en cualquier zona arquitectónica, y de la variedad “Jabaluna”, utilizada principalmente para la construcción de zócalos, aunque también se pueden encontrar sillares aislados de esta variedad a diferentes alturas.

ÚBEDA

1.- Iglesia de San Pablo (Úbeda)

Descripción histórico-artística:

Originalmente fue una mezquita y fue construida a finales del siglo XIII. Tiene el tejado de cerámica bicolor. La portada que da a la plaza es gótica isabelina; la principal es románica. Todo el edificio se enriquece con novedades renacentistas.

El edificio, tal y como lo contemplamos en la actualidad, es posterior a 1368, año en que con motivo de la guerra por la sucesión al trono entre el rey Pedro I y su hermano don Enrique de Trastámara, fue incendiada y saqueada.

Aunque el trazado de la planta, de tipo basilical con tres naves, es el original, la mayor parte de la estructura es gótica, a la que se suman importantes remodelaciones posteriores, que le confieren una gran variedad estilística.

Portada principal:

Abierta ante la plaza, y precedida por una escalinata, se levantó en 1511. Sigue un esquema gótico isabelino, de arcos apuntados con decoración de motivos vegetales enmarcados por un gran arco conopial.

El tímpano está decorado con un relieve de la Coronación de la Virgen, sostenida y rodeada de ángeles, y presidido por el Padre Eterno. En la parte inferior aparece la imagen de San Pablo bajo un doselete. Todavía son visibles, en los relieves, restos de la policromía original.

Junto a esta portada se construyó, a fines del siglo XVI, un cuerpo con molduras renacentistas y con una galería corrida, conocido popularmente como "**El Tabladillo**", lugar desde donde se podían contemplar los acontecimientos públicos desarrollados en la plaza y desde el que, en opinión de algunos autores, se leían también las disposiciones eclesiásticas y del Concejo.

Portada de los Carpinteros:

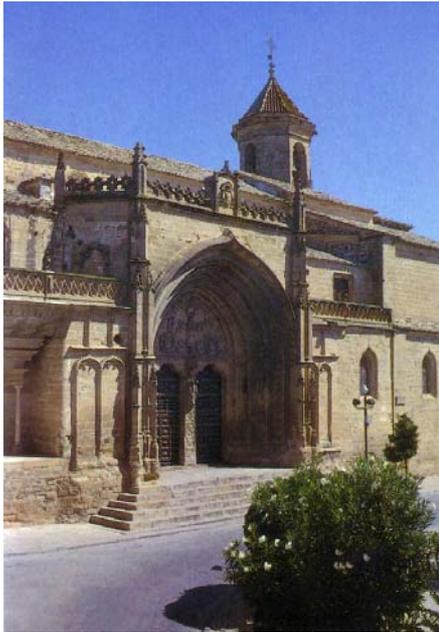
Situada a los pies de la iglesia, es uno de los pocos ejemplos de arquitectura tardorrománica de la ciudad. Levantada a finales del siglo XIII, presenta en la base un doble cuerpo con una serie de arquitos trilobulados. Las arquivoltas de la puerta aparecen decoradas con cabezas humanas y clavos.

Portada Norte:

De sencilla resolución gótica, fue construida a finales del siglo XV y remodelada en el XVI. Presenta tres arcos ojivales coronados por el escudo del obispo Don Luis Osorio.

La torre, plateresca del siglo XVI, está rematada por un chapitel octogonal con una gran comisa.

Al exterior del ábside se adosa el mejor ejemplo de fuente pública renacentista de toda la ciudad. Su construcción concluida en 1591, formó parte del programa de reformas y mejoras urbanas llevadas a cabo en Úbeda durante el siglo XVI, que incluyó el control y limpieza de minados, así como la canalización del agua hasta las fuentes públicas.



Iglesia de San Pablo portada principal, fachada sur (Úbeda, Jaén).



Ábside de la Iglesia de San Pablo, fachada orientada hacia el este (Úbeda, Jaén).

Descripción de patologías:

Colonización biológica

En general el grado de colonización vegetal no es elevado, siendo más evidente en zonas de mayor umbría y humedad.

Los organismos colonizadores en este edificio son, principalmente, líquenes y puntualmente plantas superiores.

En la fachada orientada al Sur encontramos líquenes y plantas superiores. Los líquenes se distribuyen en zonas de salientes como pináculos, escudo, arco superior de la portada, relieves superiores por encima de la portada, balaustrada a la derecha de la portada y contrafuerte orientado al Oeste. Las plantas superiores se localizan puntualmente sobre juntas de sillar.

En la fachada Oeste, los líquenes se distinguen por toda la superficie concentrándose en salientes de la portada. Los musgos se localizan sobre la cornisa inferior y zonas superiores aisladas. Estas zonas son sombrías y húmedas, lo que favorece la aparición de estos organismos. También se aprecia un desarrollo puntual de plantas superiores sobre juntas de sillar y en la cornisa por encima de la portada.

La fachada Norte presenta líquenes y musgos que se distribuyen en una banda de 50 centímetros desde el suelo. Esta distribución es debida a la existencia de un escaso alero que desagua muy cerca de la fachada, por lo que la humedad se acumula en esta zona. También aparecen plantas superiores sobre la cornisa a aproximadamente 4 metros de altura respecto del suelo y sobre el canalón del tejado. Los líquenes aparecen también al Noroeste de la fachada, se distribuyen de arriba a abajo por toda la arista de la esquina.

El campanario, con orientación Noreste, se encuentra colonizado por líquenes (sobre cornisas, pináculos y alero del tejado) y plantas superiores (puntualmente sobre juntas de sillar). Sobre la pared inferior aparece una zona con líquenes a unos 1,5 metros del tejado (zona mal cubierta).

Por último en la fachada Este los líquenes se sitúan sobre los contrafuertes y la cornisa superior de la fuente y las plantas superiores sobre salientes de la fuente y bajantes laterales del agua.

Humedades

La fachada orientada hacia el Sur presenta humedades debidas al ascenso capilar y de tipo higroscópico. (Lámina 7. Fotografía 25). A ambos lados de la portada principal, se observa una banda de deterioro de debida a la humedad de aproximadamente 2,2 metros de altura máxima. (Lámina 7. Fotografía 26). Esta banda no presenta conexión con el suelo, lo que indica que se trata de humedades de tipo higroscópico, debidas a la existencia de sales en el paramento. Se observan también humedades de cubiertas encima

del arco superior de la portada y humedades debidas al salpiqueo del agua de lluvia. El alero inexistente hace que el deterioro en este lado debido a humedades sea más evidente que en las demás fachadas del edificio, en las cuales si existe, aunque sigue siendo escaso para proteger la fachada de las humedades procedentes de cubiertas.

El lado Oeste presenta la zona del zócalo deteriorada por el salpiqueo del agua de cubiertas, al igual que en la fachada Norte. (Lámina 8. Fotografía 29).

Los tramos orientados al Norte y al Noreste presentan humedades de zócalo, debidas al salpiqueo del agua de lluvia y en la fachada Este se observa un deterioro en los primeros 50 centímetros desde el suelo debido al también al salpiqueo del agua, así como deterioros en la esquina Sureste debido a canalones rotos y a que es una zona de bajante de agua. Además la existencia de una fuente adosada al ábside de la iglesia, es un foco de humedad continuo. (Lámina 8. Fotografía 28).

En cuanto al interior del monumento, cabe decir que las cubiertas están en mal estado lo cual provoca numerosas goteras interiores (Lámina 7. Fotografía 24).

Deterioro en zonas de labra

En general el deterioro se debe a pérdida de material por arenización, desplazación y caída de fragmentos de roca.

En la fachada Sur el deterioro en las zonas de labra situadas mas al Oeste, es debido a la pérdida del material por arenización y desplazación del material. Esta pérdida superficial de material se ha cuantificado en un 70%. En el interior de la portada se pueden diferenciar varias zonas. Una banda hasta los 1,2 metros, donde la pérdida de material por arenización es del 80% aproximadamente. A partir de los 2,2 metros de altura la pérdida de material por arenización disminuye, aunque aumenta la pérdida por caída de fragmentos de roca. A unos 4,5 metros, en la columna central de la portada, el deterioro es mayor. (Lámina 7. Fotografía 27).

En la fachada Oeste la pérdida de material en los capiteles, va del 60 al 90% según la zona y en el interior de la portada es un 10%. El salpiqueo de agua de cubiertas produce el deterioro de las zonas bajas de la fachada.

En la zona de la portada Norte existe una banda de unos 0,5 a 1 metro, en la que la pérdida de material por arenización es aproximadamente del 90%. En los capiteles es del 70%, en el escudo es un 15-20% y en el alero del tejado la arenización y desplazación del material supone la pérdida de aproximadamente el 6%. También se observa pérdidas de fragmentos de la cornisa inferior.

En las zonas más bajas de la pared Noreste se ha perdido material por arenización y se han desprendido grandes fragmentos de roca de la torre que además presenta grietas de componente estructural. En la fachada Este los deterioros suponen un 60-70% de pérdida de material por arenización, descamación y desprendimientos de fragmentos grandes de material.

Depósitos superficiales

Los depósitos superficiales que se observan en el monumento son; costra biogénica (debida a la colonización vegetal), costra negra (de contaminación) y eflorescencias salinas.

La costra negra aparece en el interior de la arcada en la portada Sur, Oeste y Norte, así como en la fachada Este y en la Noreste. En esta última desde el primer metro hasta unos 4 metros de altura. En cuanto a las eflorescencias salinas, aparecen en la portada Sur, en la Norte y fachada Noreste, en esta última sobre el mortero de cal de relleno. (Muestra U.7. Lámina 8. Fotografía 30). La costra biogénica aparece en general por todo el edificio.

2.- Palacio del conde de Guadiana (Úbeda)

Descripción histórico-artística:

El palacio se edificó en la última década del siglo XVI y su torre posteriormente en el siglo XVII -entre 1611 y 1615-. La torre consta de cuatro cuerpos. El primero es una repetición del cuerpo inferior del palacio. El segundo y tercero tienen un esquema similar, formado por tres grandes huecos, el central esquinado, con columna dórica de mármol blanco a modo de mainel, con estípites antropomórficos a ambos lados, sobre los que se eleva entablamento y cornisa con molduraje clásico, rematado por los escudos de la familia coronados con frontones curvos. Por último, el cuerpo ático es un elemento vandelviriano junto con el balcón esquinado. En la torre se combinan elementos tradicionales de la zona con otros de origen flamenco y basados en láminas de edificios que se difundían por esa época. El gran decorativismo que posee nos muestra su carácter ostentoso y propagandístico, destacando la heráldica que nos habla de la genealogía familiar.



Palacio de los Condes de Guadiana, torre orientada hacia el sureste (Úbeda, Jaén).

Descripción de patologías:

Colonización biológica

En la fachada orientada al Oeste, se desarrollan principalmente líquenes, apareciendo también en menor proporción musgos. Los líquenes se sitúan de manera homogénea sobre salientes, cornisas, dinteles de las ventanas y balcones. Los musgos aparecen exclusivamente en la cornisa a media altura de la fachada, en la zona más al Suroeste, cerca de la bajante que recoge el agua del tejado. (Lámina 5. Fotografía 19).

En general podemos decir que la intensidad de colonización biológica en este monumento no es muy alta y se reduce a las zonas de salientes, cornisas y balcones en las fachadas Oeste y Este. Aquí el agua de lluvia puede incidir

más directamente y quedar retenida, favoreciendo la aparición de líquenes y musgos.

Humedades

En la fachada orientada al Sur aparece una mancha de humedad con eflorescencias salinas asociadas, en la cornisa situada a unos 4 metros de altura, pudiendo tratarse de humedades antiguas de cubiertas. En el interior del edificio se observa un gran deterioro debido a humedades de cubiertas, ya que el tejado se encuentra en muy mal estado de conservación. Aunque el edificio presenta un grado elevado de deterioro, se encuentra en proceso de rehabilitación.

Deterioro en zonas de labra

La fachada Oeste se ve afectada por arenización y algún desprendimiento de pequeños fragmentos de material. La arenización se localiza principalmente en los sillares situados debajo de los balcones, y los desprendimientos en la zona de las cornisas. El deterioro superficial en las zonas afectadas es aproximadamente del 10%.

En la fachada Sur del edificio se observa desprendimientos de material de la cornisa, siendo el deterioro superficial del 5%. En la esquina Suroeste existen varias grietas estructurales y en la esquina Sureste se observa arenización intensa de un sillar aislado a unos 2 metros del suelo (Lámina 6. Fotografía 21).

Las zonas de labra de la fachada Este y esquina Sureste, se conservan bastante bien en general. La arenización es escasa, suponiendo en la zona de la torre un 10 % de pérdida aproximadamente. En la esquina Sureste se observa la alteración física de algunos sillares por el burilado, debido al paso de vehículos.

Depósitos superficiales

Los depósitos superficiales que aparecen en este edificio son; costra biogénica ligada a la colonización biológica (fachada Oeste) y costra negra, posiblemente debida a un antiguo tratamiento protector en las fachadas Sur y Este (Muestra U.6. Lámina 5. Fotografía 20). Por último aparecen también eflorescencias salinas en la fachada Sur (Muestra U.5. Lámina 6. Fotografía 21), a unos 2 metros de altura desde el suelo, y en la fachada Este a aproximadamente unos 4 metros de altura bajo la cornisa. (Lámina 6. Fotografía 22).

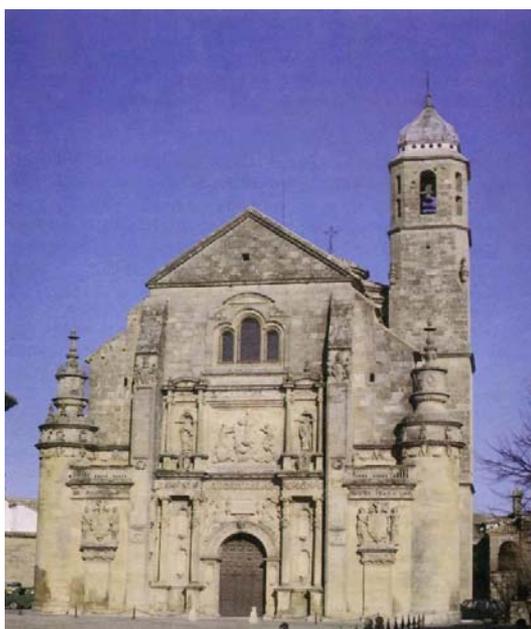
La fachada Sur queda dividida en dos por una cornisa y se observa como la zona por debajo de la cornisa está más ennegrecida que la parte superior, podría deberse a que la fachada da a una calle estrecha y con intensa circulación de vehículos. (Lámina 6. Fotografía 23).

3.- Iglesia de San Salvador de Úbeda (Jaén)

Descripción histórico-artística:

Es iglesia panteón del palacio de don Francisco de Cobos y fue mandada construir por él. Iglesia diseñada por Diego de Silóe en la década de 1530 y construida por Andrés de Vandelvira.

Es un templo funerario. Tiene una portada plateresca monumental con la Transfiguración, y escenas de la mitología aplicadas a la simbología cristiana.



Iglesia de San Salvador, fachada principal (Úbeda, Jaén).

La planta:

La cabecera, con planta centralizada cubierta por cúpula, -símbolo funerario- sigue el modelo clásico del Panteón de Roma y la nave longitudinal con capillas en nicho, el de basílica al modo romano.

Fachada principal:

La fachada del Salvador, presenta, unos resabios medievales en los contrafuertes y un frontón desnudo en el último cuerpo, bajo el cual se sitúa una triple ventana, probable alusión al misterio de la Santísima Trinidad, y una imponente portada renacentista que sigue una estructura de gran arco de triunfo.

Con diferentes niveles decorativos y de calidad escultórica, es recomendable descubrir el fuerte carácter simbólico de las torretas de los laterales, con decoración de guirnaldas y bucráneos, que solían ponerse en los templos clásicos en memoria de los sacrificios. En el intradós del gran arco de entrada, se encuentran esculpidos los dioses del mundo pagano.

Portadas laterales:

Son interesantes arcos de triunfo de un plateresco avanzado y culto, profusamente decoradas escultóricamente con toda probabilidad por Esteban Jamete.

La portada norte, netamente vandelviriiana, está dedicada a Santiago Matamoros y ofrece estructura de arco triunfal coronada por frontón semicircular. La portada sur está organizada en doble cuerpo. Estamos ante una portada de fuerte carácter italianizante, pagana, neoconversa y humanista, cuyo frontón alberga un tondo compositivamente italiano y pagano.

Descripción de patologías:

Colonización biológica

Los ejes del edificio no se encuentran orientados exactamente según los puntos cardinales. En concreto, los muros del edificio están orientados:

- Muro orientado al SSW (fachada “Sur”)
- Muro orientado al WNW (fachada “Oeste”)
- Muro orientado al NNE (fachada “Norte”)

Este pequeño giro induce variaciones en la intensidad de la colonización biológica, al generar áreas menos insoladas que otras en el mismo paramento y, por tanto, con una mayor incidencia del biodeterioro. Por ejemplo en los contrafuertes de la fachada “Sur”, en el que existen zonas de mayor retención de la humedad (orientación WNW, menor insolación) y mayor intensidad de colonización vegetal frente a las que presentan orientación ESE (Anexo III. Lámina 1. Fotografía 01).

Respecto a la fachada “Norte”, se aprecia una colonización de baja intensidad (algas y líquenes dispersos) repartida por toda el área, más intensa en la mitad más oriental y mucho más intensa en los puntos más resguardados como esquinas y grietas (que retienen más tiempo la humedad) o en los que existe un mayor aporte de humedad (zonas superiores del contrafuerte y banda inferior de unos 80 centímetros de altura). En estas últimas zonas llegan a desarrollarse musgos y se aprecia una mayor intensidad en la mancha. Mención especial merece la zanja que muestra parte de los cimientos de la iglesia en su esquina Noreste. Ésta se encuentra recubierta por un cristal y no se observan perforaciones para su adecuada aireación, con lo cual tenemos una zona con insolación y con una elevada retención de la humedad. Se observaron gotas de condensación en la zona interna del cristal que permite una intensa colonización vegetal, desde algas hasta plantas superiores bastante desarrolladas. (Lámina 2. Fotografía 06).

En la fachada “Oeste”, por último, la colonización es menos intensa y se circunscribe a las zonas más avanzadas de la zona superior y a las partes salientes de la zona inferior.

Humedades

Las principales se deben a:

- Alero de escaso vuelo que provoca que las aguas evacuadas de la cubierta impacten muy cerca de la zona inferior de la fachada que se humedece por salpiqueo, o directamente sobre los elementos salientes de la fachada. En la actualidad, este tipo de humedades ocasionan los deterioros más graves y activos. En la portada Sur se encuentra un buen ejemplo de este último efecto. En esta zona se aprecian los efectos que, sobre distintos elementos puede ejercer el deficiente estado de la cubierta. El agua impacta en los elementos más sobresalientes y discurre por los laterales. (Lámina 1. Fotografía 03).
- Humedades higroscópicas debidas a sales que captan humedad en forma de vapor de agua del ambiente. Se distribuyen en forma de banda sin conexión con el suelo (Lámina 2. Fotografía 07). Esta acumulación de sales se genera por ascensos capilares de humedad procedente del sustrato o del salpiqueo.

Depósitos superficiales

El depósito superficial más extendido es una costra negra de origen fundamentalmente biogénico (Muestra U.1). Coincide con la distribución descrita en el apartado anterior de colonización vegetal.

Se ha documentado la presencia mucho menos extensa de eflorescencias salinas y una costra negra mixta de contaminación y biogénica de muy poco desarrollo (Muestra U.2. Lámina 2. Fotografía 05). En el primer caso, se encuentran situadas en un contrafuerte de la fachada Norte y en un elemento arquitectónico de la fachada Oeste. En el segundo, se desarrolla en la portada Norte y podría corresponder a un antiguo encalado.

Deterioro en zonas de labra

Los principales deterioros encontrados son:

- Arenización: Se observa principalmente en la fachada Oeste. Su intensidad disminuye con la altura. A grandes rasgos se pueden definir tres zonas de gradación en las pérdidas de superficie labrada y en función de su altura respecto al suelo. En el primer tramo, de en torno a 1 metro de altura, se alcanza hasta un 75% de superficie deteriorada (Lámina 1. Fotografía 02). En el segundo que alcanza los 2 metro de altura, se ha perdido alrededor de un 50% de superficie. En el tercero, hasta 3,5 metros de altura, se ha perdido en torno a un 30% de la superficie. En el resto de las zonas labradas se ha determinado un porcentaje de deterioro de un 10%.

- Desprendimiento de grandes fragmentos. Corresponden a las partes más delicadas de las labras (brazos, pies, cabezas, cuernos de toro) y zonas de cornisas (Lámina 1. Fotografía 04).

En menor medida, se encuentran los siguientes procesos:

- Descamación: desarrollado en la portada Norte como consecuencia del desprendimiento de la costra superficial ennegrecida de mayor dureza.
- Grietas estructurales: Localizadas en el lado Sur.

Las zonas que, en nuestra opinión, presentan un mayor grado de deterioro se encuentran en el lado Sur:

- Esquina Suroeste: rotura de bajantes o desagües que afectan a la zona debajo de la primera cornisa y torreón.
- Elementos escultóricos de la portada Sur (Lámina 2. Fotografía 08).

4.- Palacio Vázquez de Molina (Ayuntamiento de Úbeda)

Descripción histórico-artística:

Construido hacia la mitad del siglo XVI, este palacio, conocido popularmente como de las Cadenas, es en el mismo siglo XVI remodelado, y adaptado para monasterio. Indudable obra clásica con similitudes italianas, este palacio es, sin temor a dudas, la pieza de arquitectura civil palaciega del siglo XVI más representativa en su género de toda la ciudad.

La planta:

Responde a una planta cuadrada con patio interior porticado, columnado, con arcos de medio punto y dos plantas en altura. La galería columnada del piso bajo -en clave cuatrocentista- se cubre con bóvedas de arista, y en los muros se desarrollan una sucesión continua de arcos ciegos. Siguiendo el modelo de "casa romana" y en general mediterránea, el patio estructura la ordenación interna de las dependencias.

Un palacio con dos fachadas, una la del Ayuntamiento, con tintes clasicistas del siglo XX, con acceso desde lo que fue antiguo huerto del palacio, hoy plaza de los Caídos; y la otra, portada principal de acceso al palacio por la renacentista plaza Vázquez de Molina.

Fachada principal:

De una gran magnitud, responde formalmente a un planteamiento orgánicamente estructurado en tres cuerpos, con una ordenación horizontal de tres plantas y verticalmente siete calles de diferente anchura. Desde los extremos, los tramos de la fachada van sucesivamente disminuyendo en anchura hasta llegar al tramo central, que vuelve a ser ancho, consiguiendo un efecto óptico de simetría, así como de solidez de la edificación.

En la fachada es destacable -la planta noble- constituida por siete proporcionados balcones rematados por frontones; el cuerpo alto por los siete ojos de buey y ocho guerreros y madonnas portadores de la heráldica familiar de cada una de las calles; y la cubierta por las linternas de las esquinas superiores del edificio, elemento ornamental en forma de -tholoi- clásico que ayudan a dar mayor esbeltez a la construcción.



Palacio Vázquez de Molina fachada principal (Ayuntamiento de Úbeda, Jaén).

Descripción de patologías:

Colonización biológica

Prácticamente inexistente en gran parte del edificio. En sus fachadas Sur y Este sólo existe en los pináculos del tejado; y en la fachada Oeste, en las cornisas y molduras que decoran las ventanas y en el zócalo.

En la fachada Norte presenta un mayor grado de colonización asociada, aparte de su orientación, a problemas en las bajantes situadas a ambos lados de la puerta principal y a la insuficiencia del alero que, en algunas zonas, parece desaguar directamente sobre balcones, cornisas, etc. En este lado aparecen algas y líquenes en las zonas más sobresalientes como cornisas, balcones y en la zona del zócalo (Lámina 3. Fotografías 09 y 10).

Humedades

El proceso actual más importante (salvo en la zona Norte) son las humedades higroscópicas que se extienden en forma de banda de 1 metro de anchura y 1,60 metros de altura en su límite superior. Son especialmente notorias en su lado Sur (en la zona de la entrada principal ascienden hasta 2,5 metros) y Este. No provocan un deterioro elevado salvo el estético, ya que generan una zona oscura dentro del aspecto general del monumento más claro (Lámina 4. Fotografías 13 y 14).

En la fachada Norte encontramos otra serie de procesos debidos en este caso a deficiencias en la evacuación del agua recogida en el tejado:

- Escaso alero que provoca que el agua evacuada impacte directamente sobre elementos salientes del edificio.
- Bajantes en mal estado que provocan pérdidas en el agua evacuada. También se aprecian bajantes rotas en el lado Oeste.

Depósitos superficiales

Se encuentran dos tipologías fundamentales:

- Eflorescencias salinas ligadas a los distintos tipos de humedad (posible ascenso capilar en el lado Sur y Este y bajantes deficientes en el lado Norte). (Lámina 3. Fotografías 11 y 12).
- Costra biogénica muy desarrollada en la fachada Norte y algo menos en la Oeste.

Deterioro en las zonas de labra

En la decoración inferior de las ventanas de la fachada Sur, el deterioro ha producido una pérdida de hasta un 10% de la superficie labrada, arenización inferior al 2% en el zócalo y desprendimientos de algunos motivos.

En la fachada Este se han producido desprendimientos de material y descamación en zonas de salientes cornisas y balcones. (Lámina 4. Fotografía 15).

En la fachada Norte no se aprecian deterioros significativos.

El deterioro en la fachada Oeste corresponde con desprendimientos en las cornisas, dinteles y balcones, arenización en la decoración de ventanas y en el zócalo y pérdida de mortero de junta. (Láminas 4 y 5. Fotografías 16, 17 y 18).

BAEZA

1.- Santa Iglesia Catedral (Baeza)

Descripción histórico-artística:

Sobre la mezquita se construiría una Catedral gótica (s. XIII-XIV), sustituida en 1529 por otra del mismo estilo, a pesar del renacimiento, imperante en la época. Pero en 1567, tras su desplome, se encargan las obras a Andrés de Vandelvira, que falleció en 1575 antes de terminar su edificación. El 16 de diciembre de 1593 se celebró misa en el Altar Mayor de la Catedral, poniendo fin a su construcción. El exterior no es homogéneo estilísticamente, quedando huellas de diferentes fases constructivas.

La portada principal diseñada en 1587 está dividida en dos alturas, con pilastras lisas pareadas con capiteles corintios y hornacinas. El cuerpo superior se estructura sobre un friso liso, con pináculos sobre pedestales a ambos extremos, y muestra el escudo del obispo don Francisco de Sarmiento, y un altorrelieve de la Natividad Nuestra Señora inspirado en un cuadro de Zuccaro. El resto de la fachada es austero.

En el ángulo noroeste se encuentra la torre, de base árabe. Sobre ella, con caracteres góticos, un cuerpo octogonal rematado por el campanario. En el primer cuerpo está el escudo más antiguo conservado en la ciudad, de 1395.

Junto a la torre está la Puerta de la Luna, de estilo gótico-mudéjar del siglo XIII: un arco de herradura polilobulado, algo apuntado, sobre la que hay un rosetón gótico, posterior. Y sobre éste una lápida sepulcral del obispo mártir San Pedro Pascual, cuyas reliquias descansan en el Altar Mayor de la Catedral.

La Puerta del Perdón está en la fachada sur. Es de estilo gótico flamígero de fines del siglo XV, y destaca por un alero mudéjar de ladrillos rojos y blancos.

El interior también suma estilos, aunque prevalece el renacentista. Es de planta basilical de tres naves separadas por pilares con columnas de capiteles corintios. De la construcción gótica se conservan los dos primeros tramos de las naves, con bóvedas de crucería.



Santa Iglesia Catedral, fachada principal (Baeza, Jaén).

Descripción de patologías:

En este monumento el estudio se ha centrado en la portada principal orientada hacia el Norte y en la fachada orientada al Oeste, ya que, además de las grandes dimensiones del edificio, el resto de fachadas de la catedral quedan tapadas por construcciones posteriores, dificultando su visibilidad.

Colonización biológica

Los organismos colonizadores de la fachada Norte son, líquenes, algas, musgos y plantas superiores. Hay bastante desarrollo de estos organismos ya que esta fachada es la más húmeda y sombría y esto les favorece.

Los líquenes y algas se distribuyen por toda la fachada aumentando su densidad en zonas como contrafuertes, cuerpo superior de la portada, esquina hacia el Este y una zona a la derecha de la portada principal, hasta unos 5 metros de altura, donde aparecen también musgos. En general se sitúan en zonas de salientes (pináculos, cornisa, etc.). Las plantas superiores aparecen puntualmente. La zona situada a la derecha de la portada sobresale más que el propio alero, que es bastante escaso. Esto podría explicar la existencia de la zona con mayor concentración de organismos situada hasta unos 5 metros. (Láminas 11 y 12. Fotografías 40 y 44).

En la fachada Oeste se distingue por un lado el campanario y por otro la zona inferior donde se sitúa el rosetón. La zona del campanario se encuentra colonizada por líquenes (en zonas de salientes) y plantas superiores (debajo de las ventanas) y en la zona del rosetón aparecen en mayor proporción líquenes sobre salientes, preferentemente sobre el mortero, y plantas superiores de forma puntual. (Lámina 12. Fotografía 45).

Humedades

En la fachada Norte se observa la existencia de humedades de ascenso capilar tanto en el interior como en el exterior del edificio.

A ambos lados de la portada se aprecia un importante deterioro de la roca hasta 1.6 metros de altura. La aparición de eflorescencias salinas cerca del alero del tejado indica que ha habido humedad procedente de la cubierta. (Láminas 11 y 12. Fotografías 41 y 43).

Deterioro en zonas de labra

En la fachada Norte, zona de la portada principal, se puede apreciar la pérdida de volúmenes de roca del alero y la cornisa así como la arenización intensa de algunas zonas.

Las zonas de labra en general están bien conservadas aunque con pérdida de algunos fragmentos de roca. En general el deterioro es más significativo en el alero y en las cubiertas.

Cerca del rosetón de la fachada Oeste existe intensa arenización y pérdida de mortero en las juntas.

La portada de la fachada Sur presenta un alto grado de deterioro a todos los niveles, desde pérdidas importantes de material, arenización, descamación, etc. (Lámina 12. Fotografía 46).

Depósitos superficiales

Encontramos eflorescencias salinas en el cuerpo superior de la fachada norte, cerca del tejado y a unos 2 metros del suelo hacia la esquina noroeste (Muestra B.6. Lámina 11. Fotografía 42). También se distinguen, costras de contaminación y biogénica ligada esta última a la colonización vegetal y que aparece también en la fachada Oeste.

2.- Conjunto Casa del Pópulo-Puerta de Jaén-Arco de Villalar (Baeza)

Casa del Pópulo

Descripción histórico-artística:

Se trata de una construcción del último plateresco, siglo XVI.

Fue construido en 1535, si bien se exigió para su edificación que el balconcillo y el altar (adosados a la Puerta de Jaén) fueran preservados. La razón de este celo era que en este lugar fue donde se dijo la primera misa tras la reconquista cristiana de la ciudad.

Respecto a la descripción del monumento, hay que señalar que es de dos plantas: la inferior está ocupada por las Escribanías y consta de seis vanos adintelados, en cuya clave está el escudo de Baeza, flanqueado por columnas que sostienen un entablamento corrido con siete leones echados, y la superior, en la que estaba la Audiencia Civil, tiene decoración plateresca y alberga los escudos del emperador, de Baeza y del corregidor Guevara. También hay que destacar los medallones con representación de personajes romanos, buen ejemplo de humanismo renacentista de la época.



Fachada principal de la Casa del Pópulo (Baeza, Jaén).

Descripción de patologías:

Colonización biológica

En la fachada principal de este edificio con orientación Noreste-Suroeste, no se han implantado comunidades biológicas.

Humedades

Se han detectado humedades debidas a ascensos capilares y de tipo higroscópico en la esquina bajo el balcón y en el zócalo.

Depósitos superficiales

En toda la fachada principal se han observado restos de encalados, siendo más evidentes en zonas más protegidas como, por ejemplo, debajo del alero. (Lámina 9. Fotografía 33).

Deterioros en zonas de labra

La zona del zócalo está repuesta en su totalidad con materiales más modernos debido a alteraciones históricas. Es probable que el deterioro en esta zona haya sido importante debido a las humedades de ascenso capilar. (Lámina 9. Fotografía 34).

Las zonas de labra presentan una gran variedad en su grado de alteración sin un patrón claro de control. En general se advierte que los que se hallan mejor conservados (10% de pérdida de superficie labrada) son los que se encuentran situados en el centro, mientras que los más deteriorados (hasta un 90% de pérdidas) se encuentran en los extremos. Merece especial atención la zona labrada del balcón de la esquina con la Puerta de Jaén, con arenización y descamación muy intensa, que ha provocado la pérdida del 80% de la superficie de labra.

Arco de Villalar y Puerta de Jaén (Baeza)

Descripción histórico-artística:

El **arco de Villalar** se edificó para celebrar la victoria imperial sobre los comuneros, en la Batalla de Villalar (1521) Es un arco apuntado de gran luz y almenado, que nunca tuvo función de puerta.

La **Puerta de Jaén** pertenecía a la antigua muralla y era la entrada a Baeza desde el camino de Jaén.

Era esta una de las puertas bien defendidas del recinto amurallado, pero por orden de Isabel la Católica se allanaron sus defensas en 1476. En 1526, siendo Corregidor Álvaro de Lugo y con motivo de la venida del Emperador, se la embelleció con un arco apuntado, dos torrecillas en los laterales, almenas y

una moldura de triple arco que cobija los escudos de Baeza, imperial y del corregidor.



Conjunto, de izquierda a derecha, Puerta de Jaén-Arco de Villalar (Baeza, Jaén).

Descripción de patologías:

El estudio de estas dos construcciones se van a tratar conjuntamente. (Muestra B.2. Lámina 10. Fotografía 35).

Colonización biológica

En la zona orientada hacia el Suroeste aparecen líquenes en las zonas superiores y en las zonas de resalte (cornisas, zócalo inferior y zonas de labra). (Lámina 10. Fotografía 36).

En la cara orientada al Noreste y en especial en el Arco de Villalar, se observa alta colonización por líquenes de casi toda la superficie (menos en el zócalo).

También se observa la colonización de forma puntual de plantas superiores.

Humedades

En la fachada Suroeste, concretamente en la zona inferior de la esquina Noroeste del Arco de Villalar, se aprecian humedades de tipo higroscópico y debidas al salpiqueo. El tejado o alero en este caso, tanto en la Puerta de Jaén como en el Arco de Villalar es inexistente, por lo tanto el agua de lluvia va a incidir de forma directa sobre estos monumentos. También se ha detectado humedad en el lado derecho de la puerta de Jaén, ésta puede que atraviere el muro por dentro desde arriba. Y humedades en la clave del Arco de Villalar.

En la fachada Noreste, las humedades de tipo higroscópico se sitúan en el zócalo hasta 1,30 m de altura en la Puerta de Jaén y hasta 70 centímetros en el Arco de Villalar, especialmente intensa en la zona de detrás del jardincillo, donde el riego y efecto sombra favorecen la aparición de estas humedades. (Lámina 10. Fotografía 37).

Deterioros en zonas de labra

En la fachada Suroeste los mayores deterioros se circunscriben a los elementos labrados de la puerta de Jaén (escudos y columnillas) junto a otros elementos con elevada superficie como son algunos de los sillares de los torreoncillos.(Lámina 10. Fotografía 38). En general se observa la pérdida de volúmenes por desprendimiento en las zonas altas (bolas) y en algunos elementos esculpidos, una grieta estructural que recorre el Arco de Villalar y zonas arenizadas en le muro asociadas a las distintas humedades (zócalo derecho del arco de Villalar, clave del mismo arco) y a la grieta estructural.

En la fachada Noreste se observan desprendimientos de volúmenes de las zonas altas, pérdida de mortero de las juntas de sillar, arenización en la zona inferior y burilado debido al roce de vehículos.

Depósitos superficiales

Los depósitos superficiales diferenciados en estos monumentos han sido costra negra de contaminación y biogénica y eflorescencias salinas. (Lámina 11. Fotografía 39).

3.- Ayuntamiento de Baeza

Descripción histórico-artística:

Fue construido entre 1520 y 1523 como casa del corregidor y Cárcel Pública lo que explicaría la diferente decoración entre los dos cuerpos del edificio.

Este palacio civil es plateresco, trazado por Vandelvira. Tiene dos cuerpos. En el inferior se abren dos puertas, la de la izquierda da acceso a la antigua cárcel, austera, donde están representadas la Caridad y la Justicia. La derecha da a la Casa de Justicia y del Corregidor, más rica, con decoración plateresca. El cuerpo superior tiene cuatro balcones, (el quinto es posterior), con decoración plateresca.

En el interior destaca su vestíbulo de triple arquería, y los escudos de Baeza y de los Benavides, así como el techo decorado por yeserías. En el centro hay distintos escudos. El edificio es coronado por una cornisa volada con diversas representaciones renacentistas.



Fachada principal del Ayuntamiento de Baeza, Jaén.

Descripción de patologías:

En este edificio se han estudiado dos fachadas, una con orientación Suroeste-Noreste (fachada principal) y otra con orientación Noroeste-Sureste.

Colonización biológica

En la fachada principal la colonización biológica es prácticamente nula, mientras que en la otra fachada se encuentran líquenes dispersos por toda la

superficie y plantas superiores se han desarrollado puntualmente en una zona donde las tejas están rotas.

Humedades

En la fachada principal se han repuesto todos los sillares del zócalo hasta una altura de 2 metros. Además se distingue una banda de humedad higroscópica (debida a la existencia de sales en el paramento que captan la humedad ambiental), de aproximadamente 1 metro de espesor. A la derecha de la portada principal se observa que dicha banda de humedad afecta a los sillares de reposición (aproximadamente se sitúa a 1,6 metros respecto del nivel del suelo), mientras que en el lado izquierdo el material de reposición marca el principio de la mancha de humedad. (Lámina 9. Fotografía 31).

No se observa la presencia de manchas de humedad en la fachada orientada al Noroeste-Sureste.

Deterioro en zonas de labra

El deterioro detectado en este edificio es el siguiente:

En la fachada principal se observan algunos desprendimientos de fragmentos de roca y la fachada orientada Noroeste-Sureste se ve afectada por el deterioro principalmente en la zona del zócalo, perdiendo en algunos sitios el mortero de junta. Por tanto el deterioro es mayor en esta última fachada pero en general el estado de conservación del edificio es bueno.

Depósitos superficiales

En ambas fachadas se encuentran eflorescencias salinas sobre los sillares de arenisca (Muestra B.1. Lámina 9. Fotografía 32), y además en la fachada orientada al noroeste-sureste, existe costra biogénica.

III.4.- Análisis del deterioro

En este apartado desglosamos los principales resultados del estudio mediante microscopía electrónica de barrido de las costras superficiales y de las eflorescencias salinas mediante difracción de rayos X.

Microscopía electrónica de barrido

- *U.1 Iglesia de San Salvador (Úbeda).*

Se extrajo una escama de piedra de la zona de costra negra desarrollada en el lado izquierdo de la portada Norte. A simple vista, se apreciaba que correspondía a costra con un claro componente orgánico. En este caso queríamos estudiar su estructuración y su profundidad de penetración (Anexo IV. Lámina 1. Fotografías 01 y 02).

El análisis ha mostrado un gran grado de colonización tanto en densidad como en profundidad. Se han encontrado grandes colonias de líquenes en superficie (0,5 mm de espesor), cuyos talos penetran a través de toda la muestra observada (5 mm). Estas observaciones y el hecho de que esta muestra procediera de una escama prácticamente desprendida de la pared indican una elevada intensidad del deterioro físico-químico inducido por estos organismos (Láminas 2 y 3. Fotografías de 05 a 10).

No se han encontrado restos de otro tipo que indiquen otro origen (cristales de yeso o partículas carbonosas).

- *U.2 Iglesia de San Salvador (Úbeda).*

Esta muestra procede de la portada Norte. Se ha estudiado el desarrollo de esta costra sobre dos soportes, roca arenisca del monumento y mortero de cal empleado como junta de unión de los sillares. Sin embargo, los resultados más relevantes se han extraído exclusivamente de la muestra de arenisca ya que era el fragmento que estaba en mejores condiciones (Lámina 1. Fotografías 03 y 04).

Las observaciones indican a una costra negra mixta de contaminación y biogénica de muy poco desarrollo (Láminas 3 y 4. Fotografías 11, 12 y 13). Se han encontrado elementos de ambos, cristales de yeso, partículas esféricas de contaminación y restos biológicos (Figura 01). Es posible que esta costra de muy escaso desarrollo solo se encuentre en el interior de la portada al ser una zona más abrigada que el resto del lado Norte, y favorezca la deposición de partículas al no producirse un lavado por parte de la lluvia.

Además de estas conclusiones sobre la costra, también se ha observado el soporte que corresponde a una arenisca de grano fino con clastos de cuarzo y calcita, muy cementada con calcita y escasa porosidad de tamaño muy pequeño (Lámina 4. Fotografía 14). Estos elementos indican que es una muestra de arenisca de la variedad "Viva" o "Jabaluna".

También se ha encontrado un recubrimiento arcilloso de los clastos de cuarzo en forma de “panal de abeja” (Lámina 4. Fotografías 15 y 16 y Figura 02).

- *U.6 Palacio de los condes de Guadiana (Úbeda).*

Esta muestra procede de la esquina SE del palacio. Corresponde a una costra negra desarrollada sobre arenisca y con un aspecto graso y uniforme (Lámina 5. Fotografías 17 y 18).

La observación al microscopio no ha permitido determinar su composición ni su origen. Solo se observa una capa filmógena recubriendo la textura de la roca. Este grosor impide su correcto análisis porque el haz de electrones atraviesa esta capa tan delgada y analiza el sustrato. Sin embargo, su disposición y aspecto externo permite lanzar la hipótesis de que se trataría de un antiguo tratamiento protector (Lámina 5. Fotografías 19 y 20).

- *B.2 Arco de Villalar (Baeza).*

Esta muestra se extrajo del zócalo de la esquina NW. Se trataba de observar la composición y estructuración de la costra negra, para intentar determinar su origen. Este caso era particularmente interesante debido al tráfico rodado que atraviesa el arco (Lámina 6. Fotografías 21 y 22).

Se ha encontrado una capa de unas 100 μm de espesor, con una composición similar a la encontrada en la portada norte de la iglesia de San Salvador pero con un mayor desarrollo. Se ha encontrado una zona con cristales de yeso en forma de rosa del desierto (Figura 03) junto a restos de la roca disgregada. Esta zona porosa facilita la retención de partículas de contaminación y la colonización de organismos (Figura 04) (Lámina 6. Fotografías de 23 a 28).

Difracción de rayos X

La distribución de las distintas fases mineralógicas encontradas aparece reflejada en la siguiente tabla.

Muestra	Sulfatos de Mg	Níter	Nitrato sódico	Yeso	Cuarzo	Calcita
U.23	x	x			x	x
B.37	x	x			x	x
U.5	x				x	x
U.7		x	x		x	
B.1	x	x			x	
B.6	x			x	x	x

Los resultados son bastante homogéneos (Figuras de 05 a 10). Las fases principales encontradas son sulfatos de magnesio, níter (nitrato potásico, KNO_3), cuarzo y calcita que aparecen en casi todas las muestras. Otras mineralogías presentes son nitrato potásico (NaNO_3) y yeso (CaSO_4), halladas en una sola muestra cada una.

- Los sulfatos de Mg están presentes en cinco de las seis muestras analizadas y aparecen según distintas estructuras (Hexahedrita, MgSO_4 ; Sulfato de Mg hidratado; Epsomita, $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$). Esta abundancia y su mineralogía indican una fuente desde el subsuelo rica en sulfato que disuelve parcialmente la roca (rica en dolomita, carbonato de Mg) o el lavado de las abundantes reposiciones con portland, dando como resultado que este tipo de sales sea mayoritario. Probablemente, este sea el mismo origen para el yeso presente en la muestra B.6 (figura 10), ya que el sustrato también es muy rico en calcio. Conviene notar el efecto perjudicial de este tipo de sales ya que son muy higroscópicas, es decir tienen una elevada capacidad para captar humedad en forma de vapor de agua de la atmósfera. Esta característica genera un mayor aporte de humedad al muro, lo cual provoca a su vez un mayor número de ciclos de cristalización de sales que pueden deteriorar la piedra y las antiestéticas manchas oscuras presentes en la mayoría de las fachadas.
- Los nitratos es la siguiente mineralogía en importancia. Están presentes en cuatro de las seis muestras. En su estructura se concentran los cationes monovalentes (potasio y sodio) movilizados por las humedades, mientras que los divalentes (calcio y magnesio) aparecen ligados a los sulfatos. En principio, el origen sería similar al del caso anterior: un ascenso capilar procedente del subsuelo rico en nitratos y del lavado de reposiciones con cemento portland. En este caso, la roca no parece ser una fuente de cationes por lo que tendrían que estar disueltos en origen en las aguas que inducen las humedades. En cualquier caso, podría relacionarse la concentración de nitratos en las aguas del subsuelo debido a la intensa actividad agrícola de la zona. Por último, merece especial atención la muestra U.7 (figura 07) en la cual existen únicamente nitratos. Este hecho puede indicar una fuente de humedad distinta al resto. La elevada concentración de nitratos se debería a un aporte orgánico como aguas procedentes de cubiertas que hubieran lixiviado guanos de aves.
- El cuarzo al ser elemento muy poco móvil es un resto de la propia roca alterada. Además, suele tener una intensidad de reflexión muy elevada, por lo que aunque este en baja proporción aparece con mucha claridad.
- La calcita es un mineral más soluble que el cuarzo y, por tanto, más móvil. Este hecho provoca que la calcita que aparece en los difractogramas no se sepa si es un elemento de la roca alterada o si ha precipitado al estar diluida en las humedades que pudieran haber afectado al muro.

III.5.- Conclusiones generales del deterioro

1. El grado de deterioro de origen climático es bajo. De los datos climatológicos se puede deducir que el parámetro más agresivo es la oscilación térmica en los meses estivales.
2. El grado de deterioro de origen antrópico es elevado (fugas en la red de alcantarillado que generan ascensos capilares y deterioro y deficiente mantenimiento de cubiertas).
3. El escaso alero y las bajantes de agua en mal estado provocan deterioros en zonas de resalte por impacto directo del agua evacuada y en el zócalo por salpiqueo.
4. La climatología semiárida en la zona implica un escaso desarrollo del biodeterioro, a excepción de las zonas orientadas al Norte que retienen más la humedad y en otras zonas que tengan mayor aporte de agua (impacto de aguas procedentes del tejado).
5. Las humedades que provienen de cubiertas provocan deterioros en el interior de, al menos, uno de los edificios estudiados (Iglesia de San Pablo), aunque no se ha investigado (por falta de acceso) este problema en la mayoría de los monumentos.
6. Las costras superficiales son resultado de una aglomeración de partículas de contaminación, microorganismos y polvo atmosférico. Los dos primeros predominan en las fachadas Norte y el tercero en las orientadas al Sur. En un caso se ha identificado tratamientos superficiales de protección.
7. A partir del estudio de las costras superficiales se puede deducir que la contaminación es poco intensa y solo puede crear problemas en algunos puntos muy concretos del centro de ambas ciudades.
8. Las humedades en zócalos perimetrales son frecuentes y es el principal problema de deterioro. La humedad en los zócalos proviene tanto de ascensos capilares del sustrato como de salpiqueos de cubiertas, en una proporción que debe establecerse con estudios concretos en cada edificio.
9. La composición de las sales corresponde mayoritariamente a sulfatos y a nitratos. Los primeros son de magnesio o de calcio y los segundos de potasio o de sodio. El posible origen de estas sales está en los ascensos capilares del sustrato que aportan nitratos y sulfatos y en el lavado de zonas ricas en sulfatos y nitratos como zonas respuestas con cemento portland. La abundancia de magnesio en la roca genera, sales de magnesio que poseen una elevada higroscopicidad. Esto se traduce en la presencia de manchas de humedad que solo pueden eliminarse mediante la retirada de estas sales del interior del muro.

10. Se aprecian restos de encalado en los edificios. En todos los casos hay pruebas de que este tratamiento ha contribuido favorablemente en la conservación y durabilidad de la piedra.

11. La urgencia en la actuación en los edificios estudiados (por orden de mayor a menor grado de deterioro) es:

ÚBEDA:

- Iglesia de San Pablo: Los problemas más graves que le afectan son los ascensos capilares y el deterioro de cubiertas.
- Palacio del conde de Guadiana: El problema más grave que le afecta es el deterioro de cubiertas debido a su estado de abandono durante cierto tiempo. Aunque este edificio presenta un grado elevado de deterioro, hay que decir que se está rehabilitando actualmente.
- Iglesia de San Salvador: Se ve afectado principalmente por ascensos capilares y la escasez de alero, unido a una mala evacuación del agua recogida por las cubiertas, que afectan directamente a algunas zonas de labra.
- Ayuntamiento: Los problemas más graves son debidos a ascensos capilares y al deterioro de bajantes y canalones.

BAEZA:

- Santa Iglesia Catedral: Los principales problemas que afectan al monumento son los ascensos capilares, deterioro de cubiertas y bajantes de agua en mal estado.
- Conjunto Casa del Pópulo-Puerta de Jaén-Arco de Villalar. El problema más importante que afecta a la Casa del Pópulo son los ascensos capilares. En el caso de la Puerta de Jaén y el Arco de Villalar los deterioros más importantes son debidos a la pérdida de mortero de juntas y a grietas estructurales.
- Ayuntamiento. El problema más grave que le afecta son los ascensos capilares.

III.6.- Recomendaciones

1. Prolongar un estudio previo como el actual a todos los edificios de patrimonio de ambas localidades para establecer prioridades de actuación. Sería importante valorar el estado de conservación también del interior de los edificios. La información obtenida con este estudio (distribución de deterioros, materiales, etc...) sería conveniente trasladarla a alzados digitalizados, ya que permitirían a la hora de intervenir calcular con facilidad el área afectada y cuantificar, por tanto, los métodos de conservación a emplear posteriormente. Por ejemplo, se puede calcular el área afectada por una mancha debida a sales higroscópicas que sería necesario retirar mediante una desalación.
2. Realizar estudios individuales de actuación en los edificios que los estudios previos indiquen como más afectados por el deterioro.
3. Colocar una red de piezómetros en el casco urbano de ambas localidades para controlar la situación de los niveles freáticos. Establecer una política municipal de control de fugas en la red de agua potable y de alcantarillado.
4. Conservación / recuperación de las prácticas tradicionales de encalado. Elaborar un estudio para su recuperación de la forma más operativa posible.
5. Establecer un reglamento municipal sobre restauración-rehabilitación. Este reglamento debería incluir especificaciones concretas sobre las limpiezas de fachadas (siempre con métodos muy suaves), desalación de zonas con problemas de eflorescencias o de manchas higroscópicas, mantenimiento de bajantes y cubiertas, ampliación de aleros y la prohibición del uso del mortero portland en edificios de patrimonio. Realizar un estudio sobre metodologías de limpieza y morteros alternativos según el uso que se desee.
6. Realización de estudios urbanísticos para evaluar la posibilidad de reducir la insolación en las fachadas Sur de los monumentos más emblemáticos mediante arbolado u otros métodos.

IV.- Bibliografía

Beard, D. C. y Weyl, P. K. (1977): "Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand" en *Diagenesis of sandstones*. AAPG Reprint Series nº: 20. Pp. 186-206.

I. T. G. E. (1991). Mapa Geológico de España. Hoja 925 (Porcuna). 34 pags + mapa.

Geological Society of America (1991): "Rock color chart with genuine Munsell color chips". G. S. A. 4 pags + 6 láminas.

Sebastián Pardo, E., Martín Clabo, J. y Zezza, U. (1995): "The "Piedra Dorada" calcarenite in the cultural built heritage of Baeza (Andalusian province of Jaen, Spain)". *Atti Tic. Sc.Terra*, 38. pp. 205-213.

Sebastián Pardo, E. y Zezza, U. (1998): "Colour parameters of calcarenites used in the architectural heritage of the Andalusia (Spain) and Apulia-Basilicata (Italy)". *IV Congr. Intern. Rehabilitación Patrimonio Arquitectónico*. La Habana. Actas T. I. Pp. 560-572.

Sebastián Pardo, E., Zezza, U., Rodríguez Navarro, C., De La Torre, M. J. y Cardell, C. (1992): "La "Piedra Franca", biocalcarenita en la construcción de edificios históricos de Granada". *Procc. del I Congr. Intern. Rehab. Patri. Arquit. y Edif.*, 1. Pp. 328-336.