

## EL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES COMO UNA HERRAMIENTA DE EVALUACION Y ANALISIS EN LA RESTAURACION Y CONSERVACION DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

### DIGITAL IMAGE MAPPING AS AN ANÁLISIS AND EVALUATION TOOL IN HERITAGE CONSERVATION AND RESTORATION PROCESSES

NICANOR PRENDES RUBIERA

#### ABSTRACT

Two monuments representative of the pre-Romanesque style are analyzed by digital image mapping integrating the results in a GIS. These buildings share various characteristics and have in common the pathologies (dark patinas, sugaring) and mainly the present fragmentary state they show. Regarding this analysis the areas of affection are quantified and mapped, establishing a cause-effect link between the petrophysical parameters of the materials (lithological varieties) and the changes developed. In addition, on one of the monuments, the missing original volumes are recreated by inferring the measurements from the preserved parts of the building. This process is based on the algorithms of texture generation, by mathematical morphology, and by the geometrical proportions on which the aesthetic pattern of the monument is based.

#### 1. INTRODUCCION

El desarrollo de las técnicas de procesado digital de imágenes posibilita, en la actualidad, obtener información tanto cuantitativa como cualitativa que es posible presentar en cartografías temáticas sobre la fenomenología que afecta a cualquier obra o monumento.

La utilización de los Sistemas de Información Gráfica (GIS) permite integrar de toda la información disponible de las imágenes (fotogrametría, termografía, etc.) y la derivada de técnicas como la microscopía, los ensayos de caracterización, la porosimetría, etc.,.

Para ello es necesario establecer una capa o nivel base, o de referencia, que vincule los parámetros (tanto escalares como vectoriales) con la información extraída o derivada de las propias imágenes y que se denomina Imagen máscara.

Esta contiene todos los campos, delimitados, bien como puntos, líneas y/o polígonos, con sus atributos correspondientes, que son los que establecen las características de cada

entidad (sillares, columnas, capiteles, ventanales, frisos, etc.) y que, en su conjunto, definen el edificio en cuestión.

Sobre esta imagen máscara y estableciendo el tipo, o tipos, de atributos que nos interesa y que necesariamente están vinculado con unas propiedades o patologías, se pueden generar mapas temáticos o capas de información que, en una fase posterior, se combinarán para extraer resultados y análisis globales del edificio o monumento.

Se han tomado como ejemplos metodológicos dos monumentos que, por sus características y peculiaridades, representan una gran parte del patrimonio arquitectónico y cultural de la península ibérica. Son Santa María de Quintanilla de las Viñas (Burgos) y San Miguel de Liñu (Asturies).

#### 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Aunque distantes entre sí unos 400 Km están sin embargo, desde el punto de vista arquitectónico, relacionados. Su sistema constructivo es muy específico y

característico de un periodo histórico extremadamente interesante.

Santa María de Quintanilla de las Viñas se ubica al pie de la ladera de los montes de Lara, en Burgos. Muy cercano a unas ruinas celtíberas. Está considerado el templo visigótico más tardío, cuya fundación data del siglo VII, en el año 879, por D<sup>a</sup> Flamula, mujer del Conde de Lara, Gundinsalvo Telliz.



Figura 1. Santa María de Quintanilla de la Viñas. Monumento visigótico tardío.

San Miguel de Lífú se asienta en la falda del Naranco (Asturies) y forma parte, junto con otros monumentos, de lo que en su día fue un excepcional conjunto palatino-eclesial. Su fundación data del 848, por el rey D.Ramiro I. Ambos monumentos han llegado hasta nosotros muy fragmentados. El primero por las guerras -en la alta edad media - de Castilla y el segundo por problemas de cimentaciones en su parte oriental. Se utilizaron en sus fábricas rocas sedimentarias (variedades petrográficas de calizas y areniscas, respectivamente) y su aparejo está, en el primer caso, formado por sillares perfectamente labrados y cuidados (fig. 3), muy regulares. En el otro, éstos presentan una morfología muy irregular (fig. 6), destacando los contrafuertes que arman los muros exteriores (fig. 4).

Los detalles constructivos de Santa María (naves, porche occidental entre habitaciones

anexas y prolongación de los brazos del crucero por dos cuerpos simétricos) la definen como un escalafón intermedio entre San Pedro de la Nave (el exponente más representativo del arte visigótico) y las iglesias asturianas, dentro de las que se encuentra San Miguel.

Por todo ello se han escogido como ejemplo de aplicación en las técnicas de procesado digital de imágenes, entendiéndose que los algoritmos y procesos que apliquemos en una son válidos para la otra. Así, en Quintanilla de las Viñas se han deducido las patologías de sus paramentos, los mapas litológicos (litotipos) y las cartografías temáticas, dejando la reconstrucción virtual para San Miguel de Lífú por su dificultad en cuanto al diseño de los algoritmos que definen sus patrones texturales.

## 2.1 *Quintanilla de la Viñas*

Se ha analizado su fachada sur oriental (fig. 1) por ser la única parte original del monumento y, por tanto, la de mayor valor arquitectónico y epigráfico.

En el esquema de su planta (fig. 2) se señala, en línea punteada, un croquis de los cimientos encontrados en las excavaciones realizadas en entre 1952 y 1953 (que correspondería al edificio original), en el que aparece el ábside rectangular abierto a la nave transversal del transepto, con sus dos anexos, truncados (Fontaine, J. 1978). El volumen interior, muy compartimentado, se ilumina por ventanáculos realmente estrechos (Barral, X. 1998).

Los sillares son de dos variedades, los gris azulados se corresponden a la caliza blanca de Hontoria (caracterizada en Marcos, R<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>., Esbert, R<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>., Alonso, F. J. & Díaz-Pache, F.(1993) y Díaz-Pache, F.(1994) entre los más significativos), mientras que los amarillentos proceden de las calizas de la

Sierra de Lara (García de los Ríos, J. I., Báez, J. M. & Jiménez, S. 2002). Ambos se han labrado homogéneamente, son altos y de asientos irregulares, aunque en las esquinas del transepto se observa una exquisita disposición a base de sillares dispuestos a tizón y sogá alternadamente.

En todo su perímetro existían frisos decorativos (en la figura 1 se pueden ver, aún, tres hileras) esculpidos con motivos geométricos y vegetales (que recuerdan muchísimo a los que aparecen en los muros exteriores de San Miguel de Liñu, y en el resto de las iglesias asturianas de ese periodo) que, predominantemente en este monumento, se han realizado sobre la caliza de Hontoria, tal y como se constata en la figura 3. Esta variedad pétreo ya había sido utilizada por los íberos y romanos para esculpir las estelas funerarias que se han encontrado en las proximidades, además de la catedral de Burgos, considerándose un material muy agradecido por su fácil labra y trabajo por los canteros locales, con grandes posibilidades expresivas.

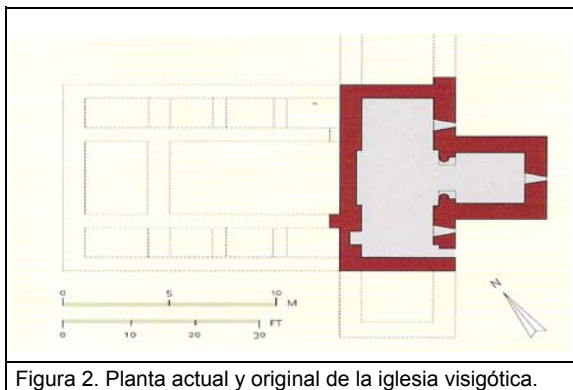


Figura 2. Planta actual y original de la iglesia visigótica.

Este monumento reúne, desde el punto de vista de las técnicas de proceso digital de imágenes, la ventaja de tener dos litologías diferentes en sus elementos constructivos, la presencia de patologías que afectan a los paramentos, destacándose, dentro de ellas, arenizaciones, pérdidas irregulares de

material, pátinas de alteración biogénica, estrías y fisuras, entre las más importantes.



Figura 3. Detalle. Aspecto grisáceo de los sillares de las calizas de Hontoria.

## 2.2 San Miguel de Liñu

Se toma en este trabajo -únicamente- la fachada sur (fig. 4) por ser la más conocida y sobre la que se ilustrará el resultado del algoritmo de generación de texturas para su reconstrucción virtual, hacia la parte oriental que, como aprecia, está "cortada".

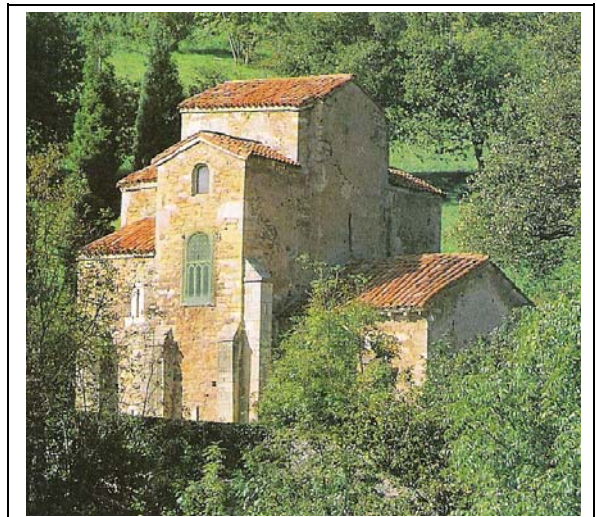


Figura 4. Aspecto, desde el SE, de San Miguel de Liñu.

Se distinguen los dos tramos de los pies del templo a los que, tras el derrumbe de la planta original (fig. 5), poco antes del año 1115, se añadió un ábside rectangular

aprovechándose algunos de los materiales de la fábrica original (fig. 6), tal y como señalan Martín, C. M. 1998 y García M<sup>a</sup>. P. 2000.

Externamente queda configurado un paramento de mampostería, o sillarejo, de proporciones reducidas pero extremadamente armonioso en su volumetría, y cuyas variedades pétreas más importantes, de acuerdo con Esbert, R<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>., García, J. C., Martínez-Nistal, A., Ordaz, J., Valenzuela, M., Alonso, F.J. & Suárez de Centi, C. (1992) y Esbert, R<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>. & Marcos, R<sup>a</sup>.M<sup>a</sup>. (1983), son las calizas de Laspra (de color blanco y dispuestas sobre los dinteles de los ventanáculos); las areniscas amarillentas jurásicas y devónicas del Naranco y algunos conglomerados silíceos y tobas margocalcáreas muy puntuales. Al igual que en el caso de Santa María del Naranco, las principales alteraciones de estos materiales son la presencia de pátinas oscuras, arenizaciones, fisuras, frentes de humedades, etc.

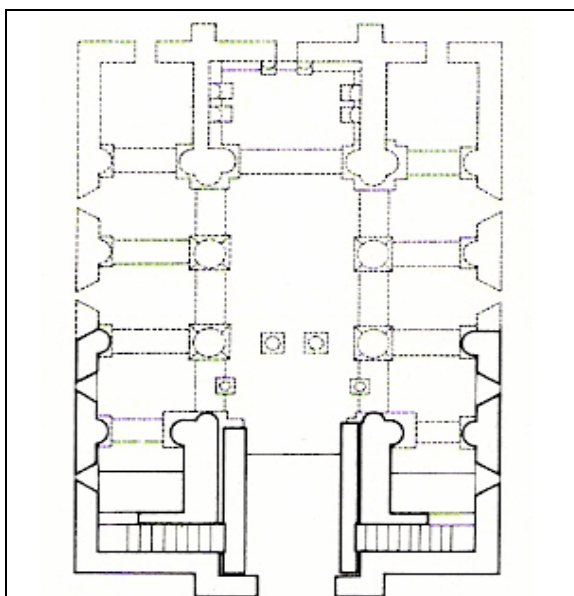


Figura 5. Planta actual y original de San Miguel de Liñu.

Arquitectónicamente la estructura interna viene condicionada por su planta basilical

con tres naves, separadas por arquerías de medio punto peraltadas que descansan sobre impostas. Hacia el techo la construcción se resuelve en bóvedas apoyadas en arcos fajones y novedosas arquerías murales ciegas (Cobrerros, J. 2000). Esta distribución acota dos espacios; la planta rectangular y las formas redondeadas de arcos de bóvedas y casquetes absidales, proyectando un inusitado y estilístico desarrollo vertical.

El interés de este edificio, por tanto, reside en la situación de los elementos figurativos y espaciales desaparecidos y que, de acuerdo con los restos que quedan, aún podemos reconstruir con enorme fiabilidad, mediante un sencillo análisis geométrico de cada elemento y su distribución espacial. Obviamente algunos parámetros son inmediatos, tal y como es el caso de la altura, el ancho del edificio y, a partir de las relaciones encontradas, la aproximación de la longitud. El número de contrafuertes y su distancia, tanto en la vertical como en la horizontal, es otro de los elementos de deducción inmediata.

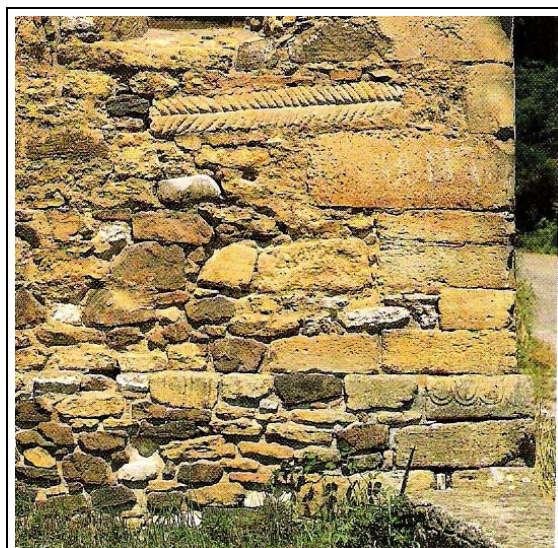


Figura 6. Restos aprovechados de la primitiva fábrica en el ábside de San Miguel de Liñu.

### 3. PROCESO DIGITAL DE IMÁGENES

Se entiende por técnicas de proceso digital de imágenes al conjunto de herramientas configuradas para la mejora y corrección de cualquier información gráfica, definiendo como tal

a todo “mapa espacio-temporal de valores asociados a una información, proyectados sobre un plano y cuyos parámetros de caracterización vienen determinados por el rango espectral registrado y el sensor utilizado (cámara fotográfica, térmica, rayos X, etc...)”.

El procedimiento general, para este tipo de técnicas, establece tres niveles operacionales (captura y mejora de la imagen; selección y segmentación de la información contenida, o de interés, y cuantificación de las fases discriminadas) que contienen diferentes tipos de algoritmos, del mismo nivel, decidiéndose la secuencia de aplicación en relación al tipo de imagen de partida y la información que deseamos extraer. Ello implica -necesariamente- que los algoritmos ejecutados que pueden ser válidos para una imagen e información a buscar, pueden resultar ineficaces si se modifican las propiedades base o cambian los parámetros de partida (Angel, M<sup>a</sup>. C., Martínez, B., Prendes, N. & Rodríguez, F. 1995).

Dado que toda imagen digital puede asimilarse a una matriz matemática de, en este caso, 1032 x 705 pixels, o puntos, cuyo valor de cada pixel viene definido por el rango de grises (z) desde 0 hasta 255 (a 8 bits), estamos en condiciones de calcular el tamaño total de la imagen, su poder de resolución y su criterio de calidad, variables todas ellas que determinan las propiedades y limitaciones de los resultados a obtener (Domingo, A. 1993).

#### 3.1. Captura y mejora de la imagen

Constituye el primer nivel operacional. La imagen ya está digitizada. La matriz matemática está acotada y escalada, en unidades reales, siendo de 101 pixels por metro (por debajo no es posible obtener datos). Dado que se ha tomado la imagen con una cámara normal, las características ópticas, el plano focal, las aberraciones y distorsiones generadas (efecto paralaje) son conocidas, así como los artefactos (debido al tamaño de grano de la película) lo que nos permite calcular (Prendes, N. 2004) el criterio de calidad (valor cuadrático medio de la diferencia entre la imagen obtenida y la que se obtendría en ausencia de esa degradación) que, aquí, es mínimo.

Establecido este argumento, el primer paso es corregir la imagen mediante el operador matemático de restitución geométrica (Bel-Lan A. 1989), aplicando una función polinómica de segundo grado, estableciendo puntos de control en los que se ha medido el desplazamiento producido por la cámara (como el frente del borde del paramento del edificio es una recta, tomada tangente al centro de la imagen, es inmediato ajustar la curva obtenida a dicha función, así como al resto de las paredes). El algoritmo siguiente de la secuencia es el cálculo del histograma (función matemática que asigna a cada nivel de gris el número de pixels que toman ese valor en aquella), que se muestra en la figura 7 (Maldonado, L. 1999).

El histograma (Zezza, F. 1990) permite cuantificar el número de pixels no pertenecientes al edificio (sustrato y cielo) y su nivel de gris, con lo que su eliminación es inmediata (segunda línea normal y su correspondiente acumulativa en el mismo). Esta última sugiere que, para esta problemática, se aplique una función logarítmica (aumentando el contraste en las zonas oscuras en detrimento de las claras) con lo que mejoramos los procesos de

discriminación de fases de cada elemento constituyente (se toma el término elemento como sinónimo de discontinuidad asociada a cualquier fenomenología presente). Sobre el resultado se aplica un filtro matricial lineal de paso alto (realce de contornos) y otro no lineal (tipo Sobel) que generan la extracción de los bordes de los sillares (líneas oscuras en la imagen) y las distintas patologías que "a priori" se han encontrado (Martínez-Nistal, A. 1993 y Prendes, N. 1995).

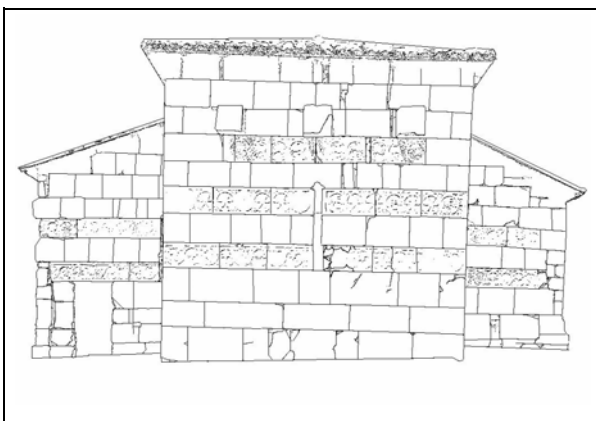


Figura 8. Imagen máscara en la que definimos los elementos identificativos representativos de santa María de Quintanilla..

La justificación de esta secuencia esta basada en la información que se quiere obtener. Por una parte interesa definir los elementos base (o unidades del monumento que, en este caso, son los sillares, ventanas y puertas) y, por otro, la litología y las patologías asociadas (Fitzner, B. 1990). Los elementos constituyentes cumplen las propiedades de las operaciones de punto (el argumento de decisión es el nivel de gris, es decir, cada pixel de la imagen transformada depende del valor de la luminancia en la original, como es el caso de la litología, o las pátinas cromáticas) y los geométricos de área (en las que la unidad de decisión implica los pixels vecinos, y cuyo resultado -en la imagen final- es función de la luminancia de los pixels vecinos, además de la del propio, tal y como sería el caso de los bordes de los sillares o los frentes de las patologías), tal y

como se detalla en Roca, X., Sanchez, X., Serrat, J., Vanrell, M, Villanueva, J & Vitrià, J. 1991.

### 3.2. Segmentación de la imagen

De la anterior operación se obtienen varias imágenes selectivas de la que sólo nos interesan tres.

El procedimiento en esta fase es relativamente sencillo. Por una parte interesa obtener el plano de cada elemento del edificio, que queda determinado por los umbrales de niveles de gris de los bordes de los sillares y demás estructuras geométricas (Gonzalez, R. C. & Wintz, P. 1987). El histograma señala que aquellos se concentran en el rango inferior (desde 8 hasta 21). Si se acotan, y se elimina el resto del rango, el resultado es una imagen binaria (en blanco aparecen los pixel identificados y en negro los desestimados) tal y como muestra la figura 8. Esta imagen es la que se utilizará como base, o máscara, para introducirla en el GIS y establecer los campos de atributos con el resto de las propiedades.

Si sobre la imagen mejorada repetimos el proceso, pero esta vez identificando los niveles de grises asociados a cada litología, cuyos resultados se detallan en la tabla 1. obtendremos los litotipos del edificio (Fitzner, B., Heinrichs, K. & Kownatzki, R. 1995).

Tabla 1. Valores de segmentación para las litologías

Litología	R. inferior	R. superior	Media	Código
Caliza. Hontoria	119	222	181,6	120
Caliza de Lara	26	141	36	123

Los datos aportados en esta tabla dan un solape de fases, lo que obliga a recurrir a tratamientos estadísticos para asignar los distintos niveles de gris a cada litotipo. La superposición, en este caso, de la imagen máscara sobre las dos nuevas imágenes

binarizadas, obtenida con los anteriores valores, y mediante la ejecución de los operadores booleanos (tipo OR), posibilita esta asignación de forma inmediata, facilitando el proceso de adscripción de uno u otro material al litotipo base, tal y como puede verse en el gráfico 9 en el que aparecen los sillares de caliza de Hontoria diferenciados por un "color" (código 120) de los de la caliza de Lara (código 123).

La inclusión del código correlaciona la base de datos con las propiedades vectoriales y escalares que se obtienen por el resto de las técnicas (humectación-secado, porosidad, capilaridad, etc.).



Figura 9. Imagen litológica de los diferentes materiales con los que se construyó Santa María de Quintanilla..

La obtención de la tercera imagen, de patologías, sigue el mismo procedimiento (Angel, M<sup>a</sup>, C., Martínez, B., Prendes, N., Rico, J. M. & López, A. 1995). Así las pátinas oscuras responden a las características de una operación de punto (al ser modificaciones cromáticas o de niveles de gris); mientras que las arenizaciones, pérdidas de material, estrías y fisuras son más propias de las operaciones de áreas.

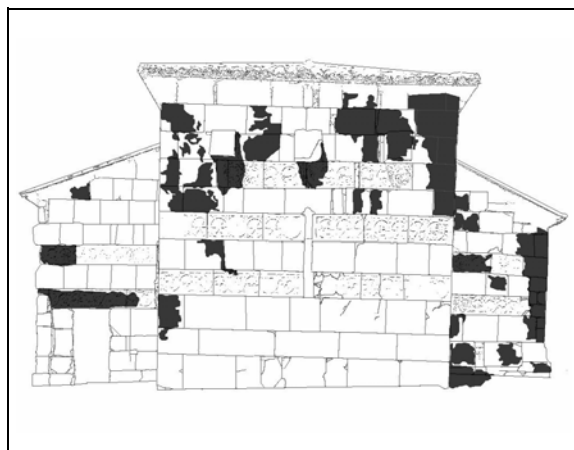


Figura 10. Imagen de patologías (pátinas oscuras) desarrolladas en la edificación de la iglesia Santa María de Quintanilla.

Por consiguiente, los nuevos valores de definición de los rangos serían los expresados en la tabla 2

Tabla 2. Valores de segmentación para las patologías

Patología	R. inferior	R. superior	Código
Pátinas oscuras	12	32	205
Pátinas biogénicas	189	231100	207
Estrías y fisuras	7	89	208

Señalar -lógicamente- que si bien en el caso de las pátinas la modificación se produce sobre el valor (z), en las fisuras, estrías y arenizaciones lo que se modifica son los valores (x, y) y su discriminación se detecta, matemáticamente, por la variación de los campos de asignación y mediante algoritmos de reconocimiento de la imagen y morfología matemática (Montoto, M., Montoto, L & Bel-lan, A. 1981).

### 3.3. Cuantificación y extracción de los resultados

Proceso operacional que se denomina, en rigor, análisis de imágenes, entendiéndose por tal el desarrollo y aplicación de la morfología matemática sobre la que se sustentan sus algoritmos. De cada una de las tres imágenes binarias deducidas de la operación anterior se extraen los datos cuantitativos que ya se han preparado (Esbert, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup> & Montoto, M. 1986).

Así de la primera imagen (máscara) se dan las medidas de cada unidad o entidad del edificio, tal y como se señala a continuación:

Tabla 3. Medidas de los elementos del edificio

Edificio	Litotipo					
Altura	5.76 m					
Ancho	9.48 m	H (m)	V (m)	H/V	P (m)	S (m <sup>2</sup> )
	C. Hontoria	0.66	0.41	1.61	2.44	0.31
	C. de Lara	0.62	0.44	1.40	2.54	0.34

De la imagen litológica se deduce el área de ocupación dentro de la fachada y su situación:

Tabla 4. Porcentajes de ocupación de las litologías

Litotipo	Nº pixels	V. Modal	Código	%
C. Hontoria	223.973	187	120	49.55
C. de Lara	186.953	46	123	41.36
Tejado	16.316	239	007	3.61
Resto	24.771	-	-	5.48

De la imagen de patologías se deducen las áreas de ocupación sobre los litotipos que se desarrollan, además de su estado:

Tabla 5. Litotipos y alteraciones. Porcentajes de ocupación

Litotipo	C. de Hontoria	C. de Lara	%Total
Pátinas oscuras	32.3	13.1	45
Pátinas biogénicas	7.1	21.5	28.6
Arenizaciones	2.1	6.2	8.3
Estrías y fisuras	0.7	3.5	4.2
%Total	42.2	44.3	

Esta serie de imágenes configura el peldaño más simple en cuanto al carácter interpretativo. Si cada una de ellas la derivamos a un GIS, y definimos un nivel o capa de información independiente, se está en condiciones, con la base de datos asociada, de obtener relaciones causa-efecto entre las alteraciones desarrolladas, las propiedades petrofísicas de los litotipos, su comportamiento mecánico y su posición en el edificio.

## 4. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

Cada imagen constituye un plano (espacio acotado, limitado y a escala) o nivel de información (capa) en el que cada elemento (punto, línea o polígono) queda vinculado, mediante una serie de atributos, a una base de datos en los que se han introducido todos los parámetros disponibles, tanto de tipo escalar como vectorial (Angel, M<sup>a</sup>. C, Martínez, B., Rodríguez, F. & Prendes, N. 1996).

Ya que se han derivado tres imágenes, estas deben de cumplir unos requisitos básicos como es su equivalencia de escalas, el mismo espacio de registro y un tipo de salida equivalente. Los niveles que se establecen son los siguientes:



#### 4.1 *Imagen o nivel Máscara*

Configura la capa 0. Es el nivel base sobre la que se va a volcar el resto de la información y contiene -únicamente- el “esqueleto” del edificio. Como se puede ver en la figura 8 está corregida y no incorpora elementos variantes ni específicos de ninguna propiedad. Es, por definición, el mapa cartográfico de la fachada. En el tercer proceso operacional del procesado digital, a este tipo de imágenes, se le aplica el algoritmo de morfología matemática de adelgazamiento para definir, con el mínimo espesor posible, el armazón (esqueleto) que soportará el resto de la información (Montoto, L. 1977).

#### 4.2 *Imagen o capa de litotipos*

Constituye el segundo nivel (capa 1) y en él se representan los litotipos encontrados en el edificio. Se corresponde a la figura 9. Este nivel da la naturaleza petrográfica de cada sillar, su ubicación en el monumento y se asocia a una base de datos en la que se recopila toda la información sobre los parámetros petrofísicos y de caracterización de los que se disponga, tales como la densidad, porosidad, permeabilidad, absorción, etc., (Esbert, M<sup>a</sup>. R<sup>a</sup>, Ordaz, J., Alonso, F<sup>co</sup>. A. & Montoto, M. 1997).

Se sustenta sobre la imagen máscara. Las características morfológicas de los sillares son similares (tabla 3) en ambas variedades. El aspecto textural, sin embargo, difiere siendo más homogéneo el de la caliza de Hontoria.

#### 4.3 *Imagen o capa de patologías*

Cartografía las degradaciones encontradas en la fachada, tal como las pátinas, las arenizaciones, fisuras, etc., (en el gráfico 10

se muestra -sólo- el nivel de las pátinas oscuras).

La combinación de este nivel con el de los litotipos nos cuantifica el grado de alteración que se desarrolla sobre cada material y su ubicación en el edificio. De las distintas combinaciones se ve que la caliza de Hontoria tiene una mayor afinidad en el desarrollo de las pátinas oscuras que la caliza de Lara que, a su vez, desarrolla más fácilmente las pátinas cromáticas. Este fenómeno está asociado a la orientación del edificio, a la composición cristalológica (mayor contenido en catión  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  de la caliza de Lara) y a los valores de porosidad y absorción de cada una de ellas (C. Hontoria > C. Lara).

## 5 RESTAURACIÓN VIRTUAL

El proceso de restauración virtual, es decir la reconstrucción de aquellas partes del edificio desaparecido, como es el caso, se sustenta en el análisis de los elementos estructurales y geométricos conservados, que sirven de referencia para la deducción de las dimensiones reales, las texturas a generar y la distribución de los volúmenes (Valenciano, C. 2001).

Partiendo de la altura y anchura de San Miguel de Liñu, así como de las medidas de los ventanáculos y las distancias de los contrafuertes y demás elementos arquitectónicos (Procopio, R. & Martínez, M. 1996), se ha encontrado una relación basada en la proporción del número aureo cuyo desarrollo posibilitaba la ubicación del resto de los elementos que conforman este edificio (Cores, P. 2004). Transferidas estas medidas al procesador digital de imágenes se ha reconstruido, en 3D, el armazón estructural que, previamente ya había sido calculado en AutoCad, tal y como se puede apreciar en la figura 11 (Prendes, N, 1993).

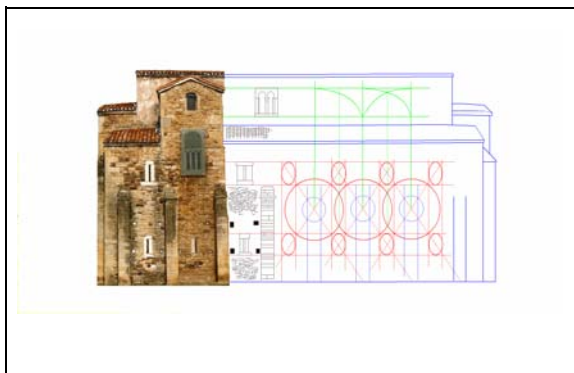


Figura 11. Diseño y ubicación de los elementos estructurales.

Sobre este armazón geométrico ha de diseñarse la textura de los diferentes elementos, siguiendo una metodología muy similar a la desarrollada por Miller, M. 1995 y García, A., Adan, G. E., González, J. A. y Rodríguez, A. 2001.

Si se acepta la definición de textura como una secuenciación de elementos básicos (texels) que responden a una serie de propiedades invariantes, regularmente repetidas pero en diferentes posiciones (Prendes, N. 2005) capaces de reproducir e identificar a un objeto mediante un patrón (Jain, A. K. 1989), se está en condiciones de generar, de acuerdo con el código asignado a la base de datos relacional, una secuencia de pixels (espacial) para cada litotipo.

En la reconstrucción virtual de San Miguel de Liñu se van a considerar, únicamente y a efectos de diseño de los texels texturales, dos grupos litológicos.

Por una parte se consideraría el litotipo de la caliza de Laspra (de color blanco y situados alrededor de los ventanáculos) que iría en los polígonos señalados como tales, con su patrón identificativo y que corresponde a su propiedad textural -regular u ordenada- (niveles de asignación de gris de media 243, con variaciones de rango  $\pm 25$ , con secuencia matricial 6x3).

El segundo grupo, que se ha llamado de las areniscas, es más complejo. Se ha diseñado mediante un modelo de texturas desordenadas (las propiedades del texel son mínimas) recurriendo a tratamientos estadísticos de la textura patrón (mediante listados de parámetros como formas, longitud de perímetro, área, etc.).

El descriptor utilizado (Tuceryan, M. & Jain, A. K. 1993) en este caso ha sido la matriz de concurrencia. Para esta zona (por razones estéticas) se planteó el desarrollo de dos modelos, uno aplicable a la parte inferior de la fachada de la iglesia (más homogéneo) y un segundo patrón, basado en la teselación de Voronoi (cuyo fundamento es la repetición de una matriz distribuida en el espacio, generando modelos poligonales), para la parte superior del monumento, y cuyo esquema global se muestra en la figura 11 (el inferior genera una retícula "rectangular" mientras que el superior da una red "pseudo-hexagonal" desplazada).



Figura 12. Restauración virtual del edificio original

Los contrafuertes "reconstruidos", se han generado mediante un descriptor textural ordenado basado en los campos de Markov, tomando los patrones deducidos de los conservados en el monumento.

El valor de (z) del texel, sin embargo, se correspondería al litotipo de las areniscas.

Generados los texels y definidos sus campos de ejecución para los distintos patrones texturales (acotados en la figura 11), se activan aquellos y el resultado sería la figura 12 en la que se recrea el resto de la fachada que no se ha conservado. En áreas

arbitrarias (parte superior derecha), se ha modificado la secuencia de grises (z) del mismo para forzar una variabilidad cromática más "real".

Evidentemente esta es una opción, basada en los estudios comparativos de arquitectura de otros edificios contemporáneos, lo que no quiere decir -ni mucho menos- que sea la única. De hecho, el profesor Procopio, R. & Martínez, M. 1996 partiendo de otro diseño estructural, que si bien mantiene las dimensiones y formas generales, difiere en la ubicación de algunos elementos (puerta lateral, un segundo crucero) etc.) sugieren otra interesante propuesta.

## 6 CONCLUSIONES

La combinación de las técnicas de procesado digital de imágenes y la derivación de esa información a un GIS permite la extracción y cuantificación de propiedades escalares y vectoriales, estableciendo relaciones causa-efecto entre patologías y propiedades de los materiales. Además la vinculación de una base de datos posibilita el seguimiento y actualización de las obras y actuaciones que se produzcan sobre el edificio, estimando las zonas más problemáticas.

Asimismo es posible recrear escenarios virtuales de análisis y distribución de volúmenes con vistas a futuros planes de rehabilitación de edificios.

---

NICANOR PRENDES es Geólogo en el CEDEX, Ministerio de Fomento, y es profesor del Master en Restauración Arquitectónica de la ETS de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

## REFERENCIAS

- Angel, M<sup>a</sup>. C., Martínez, B., Prendes, N. & Rodríguez, F. 1995. Monuments Deterioration Evaluation, Using Digitized Images. A Methodology. In *Materiales de Construcción*. Vol 45, nº 240: 37-46.
- Angel, M<sup>a</sup>. C., Martínez, B., Prendes, N. & Rico, J. M. & López, A. 1995. Caracterización Petrográfica y petrofísica de los Sillares del "Puente Viejo" de Molina (Guadalajara) con vistas a su posterior restauración. (Edita CEDEX) *Rev. Ing. Civil*, nº 96.: 51-65.
- Angel, M<sup>a</sup>. C., Martínez, B., Rodríguez, F. & Prendes, N. 1997. Obtención de datos morfométricos de las alteraciones de la fachada principal de la Iglesia de San Lorenzo, en la Escalerona. (Edita CEDEX) *Rev. Ing. Civil*, nº 99.: 42-56.
- Barral, X. 1998. *La Alta Edad Media. De la Antigüedad tardía al año mil*. Ediciones Taschen. Vol.3.
- Bel-Lan, A. 1989. *Análisis de Parámetros Petrográficos mediante Proceso Digital de Imágenes*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Cobrerros, J. 2000. Prerrománico y Románico en Asturias. *El Mundo Medieval*. (Nº 8). 44-57.
- Cores, P. 2004. *Arquitectura Sagrada*. Revista GEA. Nº 29. Texto enviado por el propio autor. //www.gea-es.org/.
- Díaz-Pahe, F. 1994. *Formas de Alteración y Partículas Sólidas en la Piedra de la Catedral de Burgos*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Oviedo.
- Domingo, A. 1993. *Tratamiento Digital de Imágenes*. (Ediciones Anaya).
- Esbert, R<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>., García, J. C., Martínez-Nistal, A, Ordaz, J., Valenzuela, M., Alonso, F. J. y Suárez de Centi, C. 1992. El proceso Digital de Imágenes aplicado a la Conservación de la Piedra Monumental. Un ejemplo: Santa María del Naranco. *Rev. de Arqueología* (año XIII, Nº 139): 7-12.

- Esbert, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup>, Marcos, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup>. 1983. Las Piedras de la Catedral de Oviedo y su Deterioración. Edita: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias.
- Esbert, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup>, Montoto, M. 1986. Digital Computerizing of Microscope Images in Petrographic Investigation of Stone. In ICOMOS. Group Petrography. Pavia Meeting: 25 pgs.
- Esbert, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup>, Ordaz, J., Alonso, F<sup>co</sup>. J. & Montoto, M. 1986. Manual de Diagnóstico y tratamiento de Materiales Pétreos y Cerámicos. (Edita Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona).
- Fitzner, B. 1990. Mapping of Natural Stone Monuments. Documentation of Lithotypes and Weathering Forms. Advanced Workshop "Analytical Methodologies for the Investigation of Damage Stones". Pavia. 24 pgs.
- Fitzner, B., Heinrichs, K. & Kownatzki, R. 1995. Weathering Forms - Classification and Mapping. (Edited by Ernst & Sohn). Deuchtländ. Separata: 41- 88.
- Fontaine, J. 1978. La España Románica. Ediciones Encuentro. Vol. 8. St Léger Vauban. France.
- García, M<sup>a</sup> P. 2000. El Prerrománico asturiano (1844-1976). Diversidad de criterios restauradores. Rev. Restauración & Rehabilitación (Nº 39). 56-61.
- García, A., Adan, G. E., González, J.A. y Rodríguez, A. 2001. Techumbres Decoradas en las Iglesias Medievales de Asturias. San Salvador de Priesca. Rev. de Arqueología (año XXII, Nº 22): 22-29.
- García de los Ríos, J. I., Báez, J. M. & Jiménez, S. 2002. La Piedra en Castilla y León. Edita Consejería de la Junta de Castilla y León). España.
- Gonzalez, R. C. & Wintz, P. 1987. Digital Image Processing. (Edited by Addison-Wesley). London (UK).
- Jain, A. K. 1989. (Edited by Kailath, T.) Fundamentals of Digital Image Processing. London (UK).
- Maldonado, L. 1999. La Fotografía Aplicada a Proyectos y Obras de Restauración. Tomo 2. Cap. 4. (Ediciones Munilla-Leria). Madrid.
- Marcos, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup>, Esbert, R<sup>a</sup> M<sup>a</sup>, Alonso, F. J. & Díaz-Pache, F. 1993. Características que condicionan el comportamiento de la caliza de Hontoria como piedra de edificación. In Boletín Geológico y Minero (Núm 5) Vol.104: 123-133.
- Martín, C. M. 1998. Rutas de la Resistencia. Arte prerrománico asturiano. Paradigma del ideal neogotista y síntesis estilística. Rev. Restauración & Rehabilitación (Nº 14). 58-65.
- Martínez-Nistal, A. 1993. Discriminación, cuantificación y Cartografiado de Componentes petrográficos mediante proceso digital de multi-imágenes microscópicas. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo.
- Miller, M. 1995. Maya Masterpiece Revealed at Bonampak. In National Geographic. Off. Journal of National Geographic Society. (Ed. Washington, D. C.). Vol. 187, Nº 2: 50-67.
- Montoto, M., Montoto, L. & Bel-Lan, A. 1981. Proceso Digital de Micrografías en Petrología. (Edita Universidad de Oviedo). Documentos de Investigación. Departamento de Petrología-Centro de Investigación UAM IBM. 78 pgs
- Montoto, L. 1977. Técnicas Digitales en la Detección Automática de una red hidrográfica. Sem. Int. Sensores Remotos en el desarrollo de los países. (Mexico): 12 pgs.
- Prendes, N. 1993. Digitización de imágenes en Arquitectura. Curso de Postgrado. ETSAM.: 45 pgs.
- Prendes, N. 1995. Mapeo de Materiales y Daños. XIII Curso de Estudios de la Construcción. M S-3 Ed. CSIC. 12-48.
- Prendes, N. 2004. Digitización de imágenes. (Ediciones Munilla-Leria). (In press): 34-63.
- Prendes, N. 2005. Determinación de Parámetros Petrográficos en Cementos y Hormigones por Tratamiento Digital de

Imágenes. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo.(Inédita).

Procopio, R. & Martínez, M. 1996. Anastilosis Virtual. Reconstrucción Infográfica de la Iglesia de San Miguel de Liño. Rev. de Arqueología (año XVII, N° 187): 36-45.

Roca, X., Sanchez, X., Serrat, J., Vanrell, M., Villanueva, J. & Vitrià, J. 1991. Curso de tratamiento y Análisis de Imágenes. Facultat de Ciències. Departament d'Informàtica. Universitat Autònoma de Barcelona.

Tuceryan, M. & Jain, A. K. 1993. Texture Analysis. (edited by Chen, Pau & Wang). Handbook of Pattern Recognition & Computer Vision. Chp. 2.1: 235-276.

Valenciano, C. 2001. Arqueología Virtual. Rev. de Arqueología (año XXII, N° 243): 22-33.

Zeza, F. 1990. Computerized Analysis of Stone Decay in Monuments. Advanced Workshop "Analytical Methodologies for the Investigation of Damage Stones". Pavia.: 163-184.