

# EL PROCESO DIGITAL DE IMAGEN EN LA INVESTIGACIÓN ARQUEOLÓGICA

Inmaculada García Jiménez

Facultad de Letras, Departamento de Arqueología y Prehistoria, Universidad de Murcia

José Jacobo Storch de Gracia y Asensio

Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Arqueología. Universidad Complutense de Madrid

Guillermo Cisneros Pérez

E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica, Madrid

Alfonso Vicente Castillo

Telefónica, Departamento de Investigación y Desarrollo, C/. Lérida n.º 43, 28020 Madrid

## SUMMARY

An experiment on archaeological research is developed applying some digital images processing techniques.

Two examples of processing are shown: a latin inscription appeared at a privated property in Murcia and a medieval bass-relief belonging to the visigothic art of Toledo. Some interesting archaeological conclusions are obtained which make possible a first transcription of the inscription and a better classification of the bass-relief.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incorporado a los métodos de investigación arqueológica un amplio conjunto de técnicas de análisis muy sofisticadas, procedentes de diversas disciplinas alejadas del marco tradicional de la Arqueología. Ha surgido así una nueva área de conocimiento interdisciplinaria, en continuo desarrollo, que suscita un creciente interés entre la comunidad arqueológica. La procedencia heterogénea de las nuevas técnicas de investigación dificulta mucho su correcta asimilación y utilización por personas sin formación específica en ellas.

Presentamos aquí distintos resultados obtenidos tras la aplicación en Arqueología de una nueva herramienta: el proceso digital de imágenes (P.D.I.). Existen algunos precedentes en la aplicación de esta nueva técnica. Destacan los trabajos realizados por el *Istituto del Restauro* de Roma (Italia), que ha venido utilizando técnicas de P.D.I. para la restauración de obras de arte deterioradas, principalmente las dañadas en las inundaciones de Florencia (1966).

En este artículo se realiza, en primer lugar, una sucinta

introducción al P.D.I. y a las técnicas de mejora y realce de imágenes. Se muestran a continuación los resultados obtenidos en dos casos prácticos: una inscripción latina y un bajorrelieve visigótico. Finalmente se exponen las posibles aplicaciones de la nueva herramienta y las líneas de trabajo que se seguirán en el futuro.

## II. EL PROCESO DIGITAL DE IMAGEN

Bajo el nombre de proceso digital de imagen (P.D.I.) se agrupa un amplio conjunto de técnicas, soportadas por un entramado teórico común, aplicables a la resolución de problemas de muy diversa naturaleza.

El P.D.I. forma parte de una disciplina más amplia: el proceso digital de señal (P.D.S.), conocida y desarrollada, en gran parte, como instrumento en el campo de la Ingeniería de Telecomunicación. Sin embargo, en los últimos años, el P.D.S. ha conseguido romper las fronteras de la Ingeniería e introducirse con pleno éxito en áreas tan dispares como Biología, Medicina, Geología, Meteorología, Psicología, Economía, Metalurgia, creación artística y un

largo etcétera difícilmente enumerable. El P.D.S. puede dividirse en dos grandes áreas, según la naturaleza de la señal procesada. Distinguimos así entre P.D.S. unidimensional y P.D.S. multidimensional.

Son señales unidimensionales aquellas en las que la magnitud asociada a la señal depende sólo de una variable. Es el caso de la señal recogida por un micrófono o la concentración de una sustancia dentro de un material en función de la profundidad a la que se toma la muestra. Señales de este tipo pueden encontrarse fácilmente en Arqueología, y la aplicación a ellas de las técnicas de P.D.S. queda abierta como un interesante y amplio campo de investigación.

En las señales multidimensionales la magnitud asociada a la señal depende de dos o más variables. Las señales de este tipo son muy abundantes. A esta categoría pertenecen las imágenes monocromas; en efecto: una imagen puede entenderse como una función que asigna a cada punto de un plano (definido por dos variables) una magnitud (la luminancia). En Geología, por ejemplo, son frecuentes señales bidimensionales en las que las dos variables son de naturaleza diferente. Es el caso de los registros obtenidos en prospecciones sísmológicas, donde las variables son espacio y tiempo. En Economía, la mayor parte de las señales manejadas son multidimensionales.

El P.D.I. es, pues, una parte del P.D.S. que se centra en el estudio de señales bidimensionales de una naturaleza bien definida: las imágenes.

Es un área de conocimiento relativamente nueva, que se ha desarrollado notablemente en los últimos años, gracias al espectacular abaratamiento de los medios informáticos. Trata de resolver un amplio conjunto de problemas planteados en torno a las imágenes, tales como codificación eficiente, visión artificial, percepción visual, creación de imágenes, descripción y clasificación de estructuras y mejora, realce y restauración.

Resulta evidente que este último tipo de problemas se plantea habitualmente en Arqueología, y éste ha sido el punto de partida para la introducción del P.D.I. en ella.

### III. MEJORA, REALCE Y RESTAURACIÓN DE IMÁGENES

Una imagen, al igual que un libro o un registro fonográfico, contiene información. Esta puede aparecer en formas muy diversas, dependiendo de ello el que resulte o no fácilmente apreciable para un observador humano.

El objetivo de las técnicas de mejora y realce es reorganizar la información contenida en la imagen para aumentar su calidad visual o facilitar la observación de ciertos detalles difícilmente apreciables. Si se dispone, además, de determinado conocimiento sobre las características del objeto original y la degradación que posiblemente ha sufrido, o de los errores y distorsiones introducidos en la adquisición de la imagen, el objetivo puede ser más ambicioso.

El P.D.I. permite introducir en la imagen esa informa-

ción que, en rigor, no está presente en ella, y generar una nueva imagen en la que se restituye al objeto sus cualidades originales. Se habla entonces de técnicas de restauración de imagen.

No es éste lugar adecuado para entrar en una descripción detallada de las técnicas de proceso que hemos utilizado para la obtención de los resultados que presentamos más adelante. El lector interesado puede encontrar una exposición rigurosa de algunas de ellas en las notas. En <sup>1</sup> se puede hallar una introducción general al P.D.S. Una descripción básica de P.D.I. y varias de sus aplicaciones a nivel divulgativo se encuentran en <sup>2</sup>. En <sup>3</sup>, <sup>4</sup> y <sup>5</sup> se da una muy amplia visión de todos los temas relacionados con el P.D.I.

En el cuadro 1 se muestra una clasificación, muy general y forzosamente incompleta, de las principales técnicas de mejora, realce y restauración de imágenes.

#### CUADRO 1

##### Técnicas de mejora, realce y restauración de imagen

1. Corrección de histograma.
  - a) Correcciones en densidad.
  - b) Correcciones de máxima entropía global.
  - c) Correcciones de máxima entropía local.
2. Realce y extracción de bordes.
  - a) Método de Wallis.
  - b) Métodos de Sobel y Roberts.
3. Adelgazamiento y vectorización.
4. Transformadas y filtrado.
  - a) Filtros adaptados.
  - b) Filtro de Wiener.
  - c) Filtros no lineales.

#### IV. APLICACIONES DEL P.D.I. EN ARQUEOLOGÍA

##### IV.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El objetivo de este primer ensayo de aplicación del P.D.I. en Arqueología ha sido evaluar la utilidad de las técnicas de mejora, realce y restauración de imágenes ya utilizadas como herramienta de trabajo en otros campos. Se ha pretendido, además, determinar las características que debería reunir un sistema automatizado especialmente adaptado al tratamiento de objetos arqueológicos.

Los materiales estudiados en Arqueología presentan una gran variedad en su naturaleza, forma, estado de conser-

1 OPPENHEIM, A. V. y SCHAFER, R. W. *Digital Signal Processing*. Prentice Hall Inc., Nueva Jersey, 1975.

2 CANON, T. M. y HUNT, B. R. «Procesamiento de imágenes por ordenador», *Investigación y Ciencia*. 63 (1981), pp. 96-108.

3 PRATT, W. K. *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons, Nueva York, 1978.

4 GONZÁLEZ, R. C. y WINTZ, P. *Digital Image Processing*, Addison Wesley Pub., Londres, 1977.

5 ANDREWS, H. C. y HUNT, R. R., *Digital Image Restoration*. Prentice Hall Inc., Nueva Jersey, 1977.

vación, etcétera. De entre las diversas posibilidades existentes se han elegido dos:

- Un epígrafe romano (tema de la especialidad de uno de nosotros, I. García <sup>6</sup>).
- Un relieve visigodo (tomado de la tesis de licenciatura de otro de los autores, J. J. Storch de Gracia <sup>7</sup>).

Los objetos elegidos, sin entrar a considerar su valor arqueológico, reúnen las condiciones necesarias para ser utilizados en la evaluación del nuevo método. Se trata de materiales fácilmente accesibles, circunstancia ésta que permite controlar las condiciones de adquisición de las imágenes, y posibilita la confrontación de los resultados obtenidos con los originales. Además, ambas piezas presentan estructuras lineales (ya sean letras o trazos) susceptibles de ser estudiadas en detalle.

Las imágenes elegidas para el proceso tienen defectos que pueden aparecer ocasionalmente en el material fotográfico manejado por los arqueólogos. Se trata de diapositivas con poco contraste y acusada fluctuación de la iluminación, circunstancias que dificultan notablemente la visión del objeto. La degradación de la imagen es particularmente acusada en la diapositiva del epígrafe, resultando imposible distinguir muchas letras.

Con la inscripción puede determinarse el interés del P.D.I. para la manipulación del abundante material epigráfico conservado, en forma fotográfica, en ficheros; es éste un material que se degrada considerablemente con el tiempo, o que no siempre ha sido correctamente adquirido. En el relieve visigodo puede evaluarse la utilidad de la herramienta para detectar sobre la imagen detalles escultóricos difícilmente visibles incluso sobre la pieza original.

Las imágenes procesadas han sido digitalizadas en un microdensitómetro de lecho plano, con una frecuencia de muestreo de 80 µm y una ventana de 100 µm.

Debemos destacar finalmente que, al margen de los resultados aquí presentados, cuyo interés es evaluar la utilidad del P.D.I., las posibles aplicaciones de esta técnica en Arqueología se centrarán en los siguientes puntos:

1. Tratamiento de imágenes irrepetibles, por la desaparición de la pieza original o por su difícil acceso. En este caso, el valor documental del material justifica cualquier proceso, siendo secundario su costo.
2. Instrumento de manipulación y potenciación de datos bibliográficos o de campo. El creciente desarrollo de la tecnología electrónica y el progresivo abaratamiento de los ordenadores hacen viable a corto plazo, incluso ahora mismo, la introducción de máquinas de proceso de imagen como herramientas de uso y fácilmente accesibles. Ello permitirá la utilización de las técnicas de P.D.I. como medio habitual para la manipulación de la abundante información fotográfica incluida en los fon-

dos bibliográficos, o del material procedente de los trabajos de campo.

#### IV.2.1. EJEMPLO 1. EPÍGRAFE LATINO

La imagen procesada corresponde a una inscripción funeraria latina procedente de una *villa* romana ubicada en finca Trujillo (Librilla, Murcia). Actualmente se expone en el Museo Arqueológico Provincial de Murcia (sala V, vitrina 6).

Se trata de una placa de mármol blanco, fragmentada, cuyas dimensiones son: 35 cm de altura máxima × 35 cm de anchura. La superficie aparece ligeramente erosionada, de manera general, y, particularmente, en las tres líneas inferiores y los bordes, lo que dificulta la lectura. Las letras miden entre 2,1 y 2,4 cm en rr. 8 y 1 respectivamente, y 3-3,3 cm en los demás rr. (3,6 cm. tienen la V de *vero* (r. 3) y la C de *praecesseris* (r. 4), y 4,2 cm la L de *devalete* (r. 6)). Las medidas de los espacios fluctúan, incluso dentro de cada uno de ellos (rr. 1/2: 0,6 cm; 2/3: 0,6-1,2 cm; 3/4: 1,2-1,5 cm; 4/5: 0,6-1,5 cm; 5/6: 1,2 cm; 6/7: 0,9-1,8 cm; 7/8: 0,9-1,5 cm). No se aprecia interpunción, excepto las dos *hederae* estilizadas de rr. 4 y 7. La *ordinatio* es muy cuidada.

No existen noticias de las circunstancias en que apareció el epígrafe. Al no proceder de excavación suponemos que se encontraría en el transcurso de alguna prospección arqueológica o como consecuencia de las faenas agrícolas. Asimismo se ignora la fecha, tanto del hallazgo como de su posterior ingreso en el Museo de Murcia. Debió tener lugar entre 1957 y 1974, pues Aragonese no lo menciona, en 1956, entre la colección epigráfica del Museo <sup>8</sup>, y sí en cambio Belda, en 1975 <sup>9</sup>.

De esta pieza conservábamos en nuestro archivo una diapositiva de muy deficiente calidad, sobre la que resultaba imposible realizar lectura alguna sin recurrir directamente al original. Esta razón nos ha movido a utilizar dicha diapositiva como imagen de prueba para evaluar la utilidad del nuevo método.

La adquisición de la imagen se ha conseguido con un microdensitómetro, a partir de una mala diapositiva. Los parámetros de la imagen digitalizada son los siguientes:

- Dimensión: 256 × 256 píxeles.
- Números de bits/píxel: 8 (correspondientes a 256 niveles de gris).

En la lámina 1 se muestra la imagen digitalizada, presentada en un terminal gráfico Tektronix-4115, de muy alta resolución, con cuatro planos de memoria. Ello significa

<sup>6</sup> Esta inscripción no queda recogida en su tesis doctoral (*Prosopografía latina del «C. Carthaginiensis»*), actualmente en proceso de realización.

<sup>7</sup> STORCH DE GRACIA, J. J. *Artes decorativas visigodas en Toledo* (tesis de licenciatura), Universidad Complutense, Madrid, 1984.

<sup>8</sup> JORGE ARAGONESES, M. *Museo Arqueológico de Murcia*, Guías de los Museos de España, IV. Madrid, 1956. No alude a la inscripción en las pp. 47-51, correspondientes a la sala IV (hoy sala V), ni en pp. 53-63, donde expone la colección epigráfica del Museo.

<sup>9</sup> BELDA NAVARRO, C. *El proceso de romanización de la provincia de Murcia* (tesis doctoral), Murcia 1975. No estudia el epígrafe, ni lo menciona junto con el material procedente de finca Trujillo. Se limita a recoger la fotografía (lám. 41).

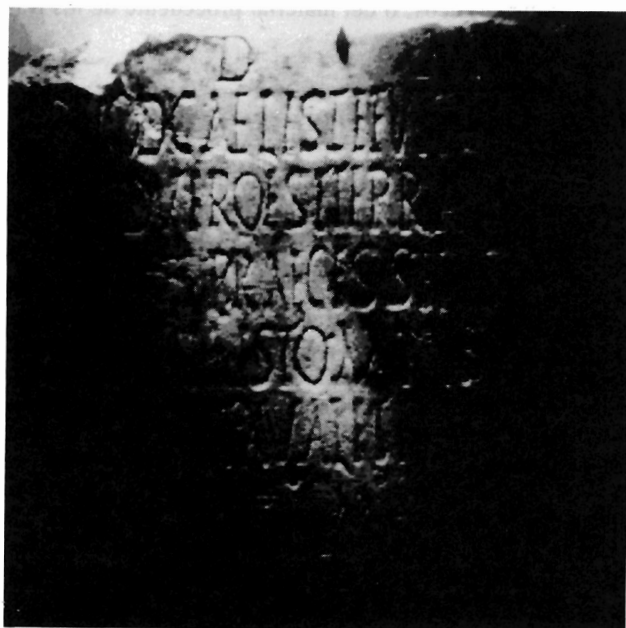


LÁMINA 1. a- Imagen original digitalizada.

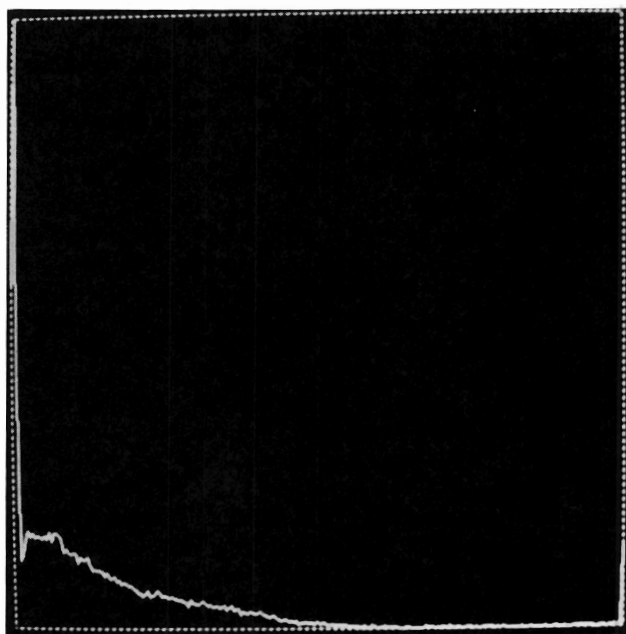


LÁMINA 1. b-Histograma de la imagen anterior.

que, aunque el proceso de la imagen se realiza con 256 niveles de gris, en el terminal sólo se muestran 16 niveles. En la lámina 1 puede observarse el histograma de la imagen original. En él destaca una notable acumulación de píxeles en la parte baja de la escala de gris (proximidades del negro). Aparecen también dos fuertes picos en los tonos 0 (negro) y 255 (blanco), debidos a la mala calidad de la diapositiva.

Resulta evidente que, sobre la imagen original, es imposible la lectura de la inscripción. La imagen es demasiado oscura, apareciendo un fuerte gradiente en la iluminación y llegando a la oscuridad completa en los bordes. El objetivo del tratamiento es, exclusivamente, lograr la perfecta visibilidad del material. Como en este caso el objeto original puede fotografiarse de nuevo, el interés del proceso se limita a demostrar la potencia de la herramienta, que podría resultar decisiva si la pieza hubiera desaparecido o fuera inaccesible.

En la digitalización se ha tomado una resolución ( $256 \times 256$ ) relativamente pequeña, para acortar el tiempo de proceso. En la lámina 1a se puede observar el efecto de ladrillo ocasionado por la baja resolución de la digitalización.

En las láminas 2a y 2b se muestra el efecto de una corrección de máxima entropía global. Puede apreciarse un notable aplanamiento del histograma. Los tres fuertes picos situados en la parte baja de la escala de grises son debidos al desdoblamiento de la zona de saturación en el negro de la imagen original. El aspecto aserrado del resto del histograma se debe a la naturaleza discreta (no continua) del proceso. El efecto de esta corrección es un claro aumento de la zona visible y la calidad visual de la imagen;

no obstante, persiste el gradiente en la iluminación, que dificulta la visión en los extremos y el centro del objeto.

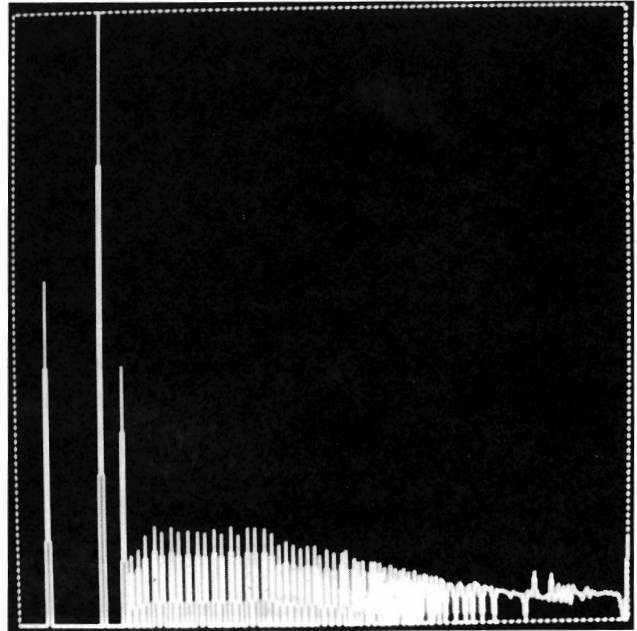
En las láminas 3a y 3b observamos el efecto de un realce de bordes aplicado sobre la corrección de máxima entropía global. El realce actúa sólo sobre los píxeles situados sobre un contorno de la imagen. Al ser el número de éstos menor que el de los situados en zonas lisas no se aprecia ninguna modificación en el histograma correspondiente a esta imagen respecto a la de la lámina 2b. El realce de bordes mejora la legibilidad de la inscripción, pero no influye sobre el gradiente de iluminación. Para eliminar éste se ha utilizado la técnica de corrección de máxima entropía local.

Las láminas 4a y 4b muestran el efecto de una corrección de máxima entropía local con ventana de  $21 \times 21$ . Puede observarse una eliminación total del gradiente de iluminación. La imagen ha perdido parte de su aspecto fotográfico, apareciendo claramente visibles la mayoría de los detalles de la inscripción. El histograma resulta notablemente plano, exceptuando el fuerte pico situado en el blanco y debido a la naturaleza del proceso.

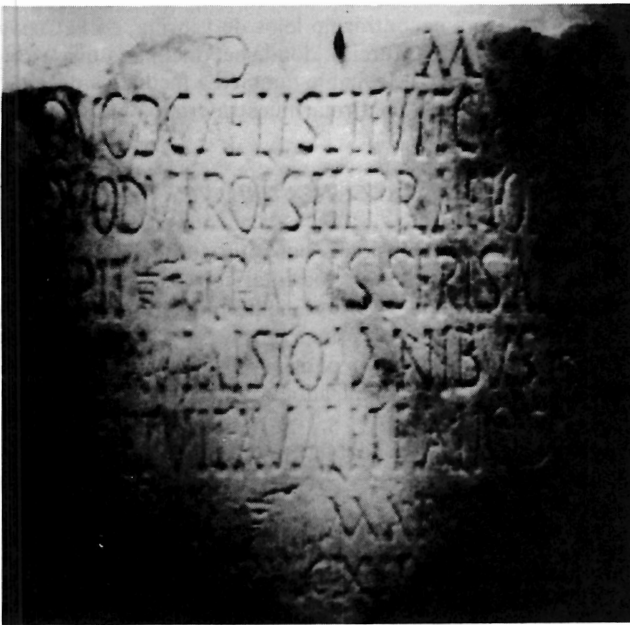
En la lámina 5a se muestra el efecto de una corrección de máxima entropía local con ventana de  $7 \times 7$ . El pequeño tamaño de la ventana origina la aparición de un notable ruido de fondo. Pese a ello sigue siendo perfectamente visible la mayoría de los detalles de la pieza, especialmente los de muy pequeño tamaño. Si se comparan las láminas 4a y 5a podrá apreciarse que, cuanto menor es el tamaño de la ventana, más pequeño es el de los detalles visibles en la imagen, desapareciendo además los detalles de mayor tamaño.



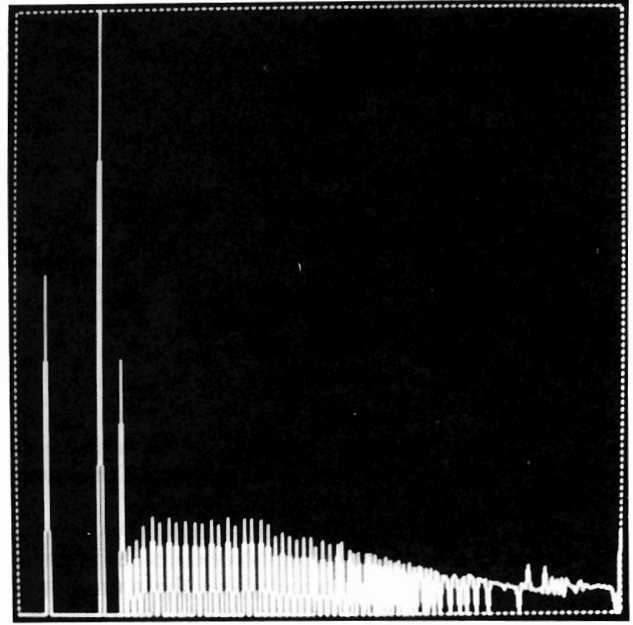
LAMINA 2. a-Corrección de máxima entropía global.



LAMINA 2. b-Histograma de la imagen anterior.



LAMINA 3. a-Realce de bordes sobre correccion de máxima entropía global



LAMINA 3. b-Histograma de la imagen anterior.



LÁMINA 4. a-Corrección de máxima entropía local (ventana 21x21).

Finalmente, en la lámina 5b se presenta el módulo de la transformada de Fourier de la imagen original (espectro de frecuencias espaciales). Sobre esta lámina pueden medirse cuantitativamente diversos parámetros epigráficos de interés, como tamaño de las letras o interespacios. Muchas técnicas de mejora y restauración se basan en la manipulación de este espectro. Estos métodos caen fuera de los objetivos de esta comunicación, por lo que serán presentados en posteriores estudios.

Hasta ahora no se había publicado ninguna lectura de la inscripción que nos ocupa. Como sobre nuestra diapositiva tampoco era posible realizarla, la hemos hecho a partir de las imágenes procesadas mostradas en las láminas 4a y 5a. El texto dice:

*D(is) M(anibus) [s(acrum)]*  
*Quod caeleste fuit caelico [- - -]*  
*quod vero est terrae totum [- - -]*  
*cepit (hedera) praecesseris ans e? [- - -]*  
 5 *una via est omnibus mo [- - -]*  
*spes et vita valet aliosque? - - -]*  
 [- - -]e? r? ite (hedera) mar [- - -]  
 [- - - -] r vicxit [- - -]  
 - - - - - ?

R.2: la O final se inscribe dentro de la C. R. 5: posiblemente haya que restituir *mo[rtalibus]*. R. 7: la segunda letra puede ser R o P.

Por el tipo de fórmulas y la disposición reiterativa de los rr. 2 y 3 parece tratarse de una inscripción métrica. Seguramente son dísticos. Tal vez dísticos elegíacos (hexámetro+pentámetro) o una serie de hexámetros que no siempre coinciden con las líneas. Calculamos que a la pieza le debe faltar un tercio aproximadamente, donde iría la mención

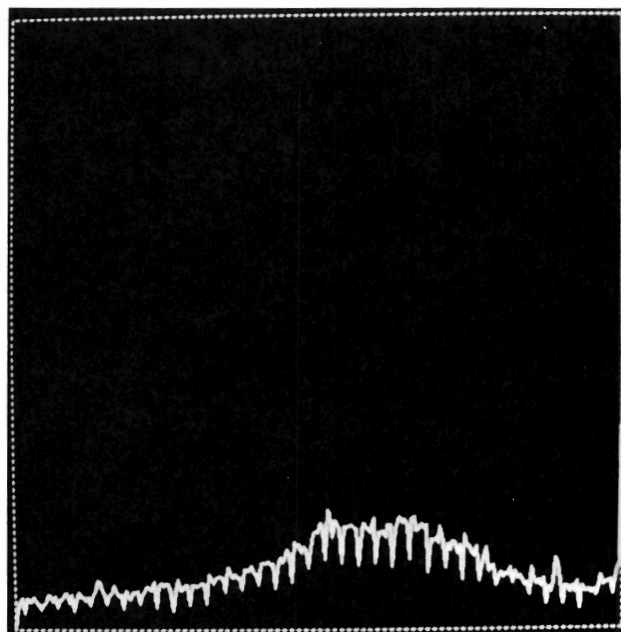


LÁMINA 4. b-Histograma de la imagen anterior.

del difunto, y, posiblemente, alguna referencia al dedicante.

Por último, para fecharla no podemos servirnos de los escasos materiales cerámicos aparecidos en finca Trujillo, pues carecen de contexto arqueológico y proponen una datación muy amplia (s. II a. C.-II, III d. C.)<sup>10</sup>. La fórmula *D.M.S.* abreviada no es anterior al 100 d. C. La escritura es capital actaria, pudiendo fecharse en la segunda mitad del siglo II d. C. Las *hederae* estilizadas usadas como interpunción en rr. 4 y 7 son un elemento bastante infrecuente, pero que se vuelve a encontrar no lejos de Librilla, en la Cueva Negra de Fortuna (Murcia), donde se vinculan a una escritura cursiva antigua, fechable también a mediados del siglo II<sup>11</sup>, viniendo así a confirmar nuestra cronología.

#### IV.2.2. EJEMPLO 1: CONCLUSIONES

Todas estas conclusiones han sido contrastadas ante la pieza original, resultando una total coincidencia. Ello evidencia la utilidad del P.D.I. como herramienta en la investigación epigráfica. Este primer ensayo permite definir las líneas de trabajo a seguir para perfeccionar y aumentar la potencia del método empleado. Apuntamos aquí dos posibles estrategias:

1. Sistema de edición de imágenes orientado al tratamiento de los epígrafes.

<sup>10</sup> Cerámica recogida en finca Trujillo: Fragmentos de campaniense A, *sigillata* sudgálica (formas Drag. 24/25 y 27), *sigillata* hispánica decorada y productos locales imitando tipos de *sigillata* clara —sin más detalle— (vid. Belda, *o. c.*, pp. 193-94). Por lo demás, no hay constancia de que estos materiales y el epígrafe se hallaran asociados.

<sup>11</sup> Comunicación personal del Dr. A. U. Stylow.



LÁMINA 5. a-Corrección de máxima entropía local (ventana  $7 \times 7$ ).

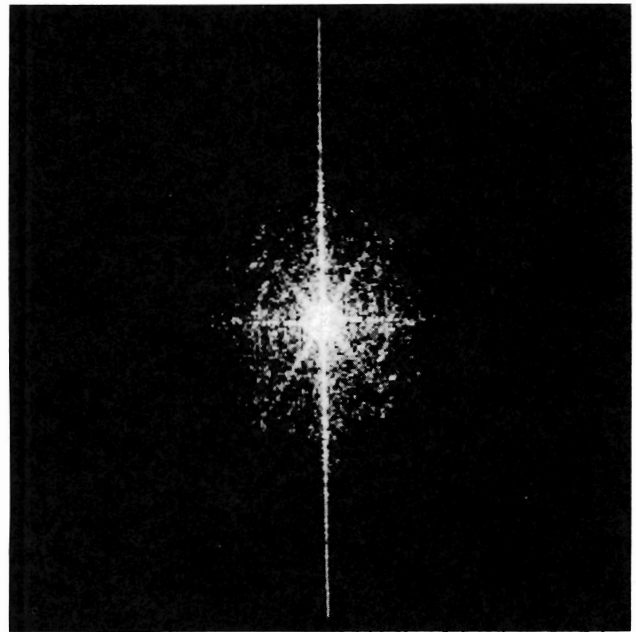


LÁMINA 5. b-Transformada de Fourier de la imagen original (lámina 1a).



LÁMINA 6. a-Imagen original digitalizada.

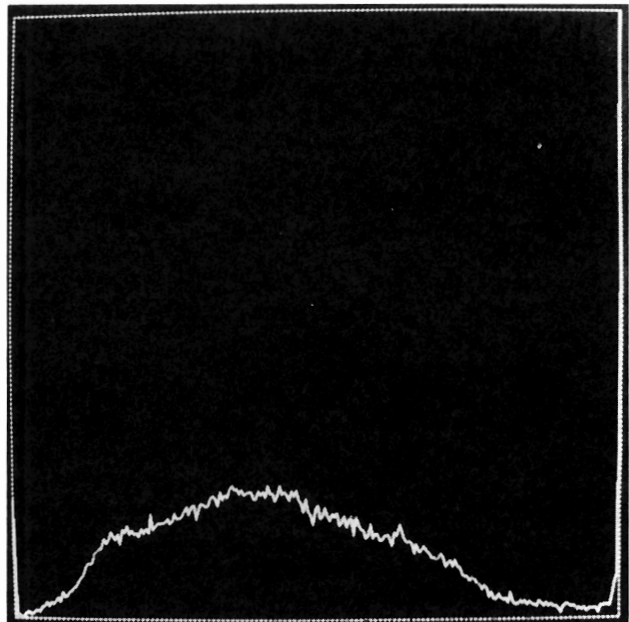


LÁMINA 6. b-Histograma de la imagen anterior.



LÁMINA 7. Realce de bordes sobre corrección de máxima entropía global.

En este caso los algoritmos de mejora, realce y restauración de imagen se complementan con un conjunto de utilidades software interactivas que permiten la rápida manipulación de los epígrafes. El sistema incluirá, entre otras, las siguientes posibilidades:

- a) Introducción del falso color para aumentar la visibilidad de las inscripciones.
  - b) Selección de sectores de imagen, con posibilidad de zoom, movimiento y superposición (especialmente útil para la comparación visual de letras dudosas dentro de un mismo epígrafe).
  - c) Medida automatizada de parámetros epigráficos (ancho de trazo, distancia entre líneas, tamaño de la letra, etc.).
  - d) Generación automática de imágenes en las que aparezca sólo la inscripción, eliminándose el fondo.
2. Sistema automático de análisis y clasificación de epígrafes.

Los objetivos son aquí más ambiciosos. El sistema debe procesar un gran número de epígrafes y calcular, para cada uno de ellos, un conjunto de parámetros característicos que lo definan. A esta información puede añadirse

otra de naturaleza distinta (procedencia, cronología, tipo de inscripción, forma de escritura, etc.). Todos estos datos constituyen un patrón que define al epígrafe.

Una vez calculados los patrones, el ordenador puede realizar una clasificación automática, proporcionando como resultado grupos constituidos por inscripciones con patrones semejantes. Si la selección de los parámetros se lleva a cabo correctamente cabe esperar que exista una correspondencia entre estos grupos y la tipología de los epígrafes. Esta opción puede resultar muy útil para la identificación de talleres lapidarios.

La bondad de los resultados dependerá de la habilidad del usuario para describir un patrón que defina eficientemente al objeto.

En resumen, podemos concluir afirmando la gran utilidad de esta herramienta en la investigación epigráfica. En futuros trabajos se detallarán las técnicas de P.D.I. específicas para el tratamiento de inscripciones, y los resultados del desarrollo de los sistemas de edición y análisis y clasificación aquí propuestos.

#### IV.2.3. EJEMPLO 2: RELIEVE VISIGODO

A la hora de buscar un ejemplo escultórico en el que se diesen las condiciones mínimas necesarias para juzgar las posibilidades que ofrece al arqueólogo el acceso al tratamiento digital de imágenes se pensó en un relieve que fuese manejable y con una representación compleja y conocida. Presentamos aquí un relieve perteneciente al foco toledano del arte visigodo. Fue publicado por A. Palomeque en 1955 y procede de una *villa* romana reutilizada, a 200 metros de la basílica existente en la finca de Las Tamujas, localidad de Malpica de Tajo (Toledo)<sup>12</sup>. Se trata de una placa de mármol grisáceo, de grano fino. Mide 0,42 m de altura, 0,29 m de anchura y 0,05 m de espesor. Se halla fragmentada por todos sus lados, por lo que no se pueden conocer sus dimensiones originales. El relieve se halla algo desgastado por la erosión, y se conserva en el Museo de San Román, en Toledo, con el número de inventario general 13.594.

En este relieve aparece una decoración bastante compleja. Entre dos franjas verticales se halla un personaje bajo un nicho lobulado. Se trata de una figura de pie, con una flor trifolia en forma de lis, al extremo de una vara (¿un cetro?, ¿un báculo?) sostenida con la mano derecha alzada, mientras la mano izquierda aparece baja y cruzada. El cabello, largo y abundante, acabado en voluta a ambos lados de la cara, a la altura de la barbilla, siguiendo la moda visigoda, tal y como se observa en las monedas. De la cara sólo se puede apreciar una representación muy esquemática de los ojos, y una larga nariz. En el centro del pecho aparece claramente una flor trifolia invertida (¿representación de algún colgante o joya?). Por debajo de los brazos como un largo vestido decorado con ondas y un motivo central que quizá sea un broche o cual-

<sup>12</sup> PALOMEQUE TORRES, A. «La villa romana de la finca de Las Tamujas (término de Malpica de Tajo, Toledo)», *AEA* 92, 2.º semestre (1955).



quier tipo de ornamento estampado. Por encima de la cabeza hay un nicho lobulado, con un botón central, en cuyo interior aparece un molinete, o rueda de radios curvos. Todo ello, sostenido por un par de columnas torsas con sus capiteles. Una de estas columnas se halla suspendida, y, la otra, sostenida por una especie de pilastra decorada con la típica trifolia toledana, un tanto ruda en este caso. Toda la decoración central de la placa, compuesta por figura, nicho, columnas y pilastras, se halla flanqueada por dos franjas verticales decoradas a base de círculos tangentes inscritos en cuadrados, y que encierran una cruceta formada por los diámetros.

La talla con que está realizada la decoración lateral es de fuerte bisel, mientras que la figura está hecha por medio del rehundido del espacio que la rodea, de tal forma que resulta una silueta recortada. El conjunto es bastante arcaico en su técnica de ejecución. La combinación de la talla en suave rehundido y el fuerte bisel sitúa a esta pieza con posterioridad a las piezas visigodas emeritenses, cuyo apogeo se registra en el siglo VI<sup>13</sup>. Por otro lado, su carácter más primitivo en la factura, con respecto a las representaciones humanas del foco castellano-leonés, nos enmarca cronológicamente esta obra en la primera mitad del siglo VII.

Antonio Palomeque interpretó esta figura como una divinidad agrícola que surge de las aguas (eso le parecieron las ondas de la parte inferior de la imagen), que, junto al sol representado por el molinete del nicho, hace prosperar los productos de la campiña, simbolizados aquellos por la vara acabada en la flor trifolia.

Para Isabel Zamorano se trata de un personaje eclesiástico (en este caso la vara sería el báculo) sermoneando o bendiciendo *ex cathedra*, interpretando la parte baja de la figura como una tosca representación de un cancel visigodo<sup>14</sup>.

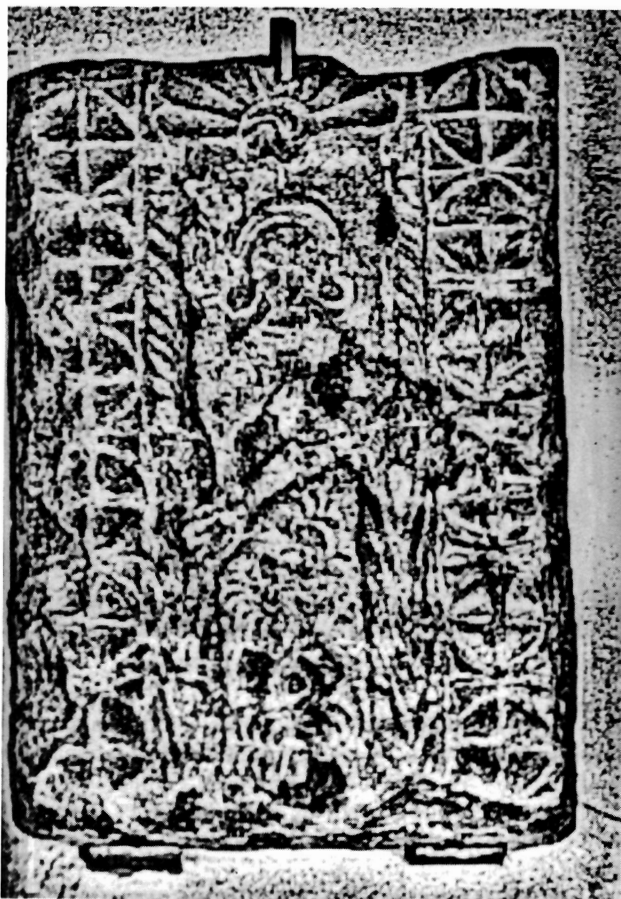
Posiblemente se trate de un rey visigodo bajo un solio o edículo, a la manera de lo que se ve en el *missorium* de Teodosio, y vestido con una larga túnica ricamente decorada. (Es conocida la abundancia de sedas orientales y lujosas vestiduras en el mundo visigodo, tal como dejan entrever las descripciones de los trajes de los obispos de Mérida, en las *Vitae Patrum Emeritensium*).

El peinado, como ya se ha apuntado, está documentado en las monedas visigodas, y los monarcas más parecidos a este personaje son Sisebuto y Suintila, según monedas emitidas en la capital visigoda y recogidas en *Las monedas visigodas del Museo Arqueológico Nacional* de Felipe Matéu y Llopis, 1936, y en la *Description générale des monnaies de rois wisigoths d'Espagne*, de Aloïs Heiss, París, 1872. Estas mismas razones pueden servir para interpretar a este personaje como el *dominus* o señor de las tierras en que apareció esta pieza, y perteneciente, por su aspecto, a la nobleza visigoda.

Un estudio más detallado acerca de esta pieza se ha reali-

13 CRUZ VILLALÓN, M. *La escultura arquitectónica y litúrgica de Mérida en su época visigoda* (tesis doctoral, e.p.), Madrid, 1982.

14 ZAMORANO HERRERA, I. «Caracteres del arte visigodo de Toledo», *Anales Toledanos*, X (1974), pp. 140-43.



LAMINA 8. Corrección de máxima entropía local (ventana 27 × 27).

zado<sup>7</sup> y se publicará más adelante, con nuevos datos proporcionados por el P.D.I.

Sobre el relieve se han ensayado diversas técnicas de mejora de imagen. Esto se debe a las condiciones de la fotografía inicial, no óptimas, como se puede ver en la lamina 6a. Su histograma revela la pésima distribución de los niveles de gris en toda la imagen, y se muestra en la lamina 6b.

La corrección uniforme de histograma, o de máxima entropía global no da buenos resultados en este caso. Por eso se ha optado por comenzar realzando los bordes, lo cual ya da algo más de información que la fotografía original. El resultado de este primer paso se puede ver en la lamina 7. El histograma se corrige algo, pero no es una técnica destinada a su corrección.

El paso siguiente fue hacer una corrección de máxima entropía local. Se ensayaron dos ventanas cuadradas de lados 27 y 41 respectivamente. El resultado de la ventana de 27 × 27 se puede apreciar en la lamina 8. Los histogramas respectivos están en las láminas 9a y 9b. El valor de entropía de ambas es casi el máximo posible.

Un experimento con ventana pequeña (7 × 7) puede dar resultados interesantes y se puede observar en la lamina 10.

Al objeto de tener en cuenta el conjunto global de la ima-

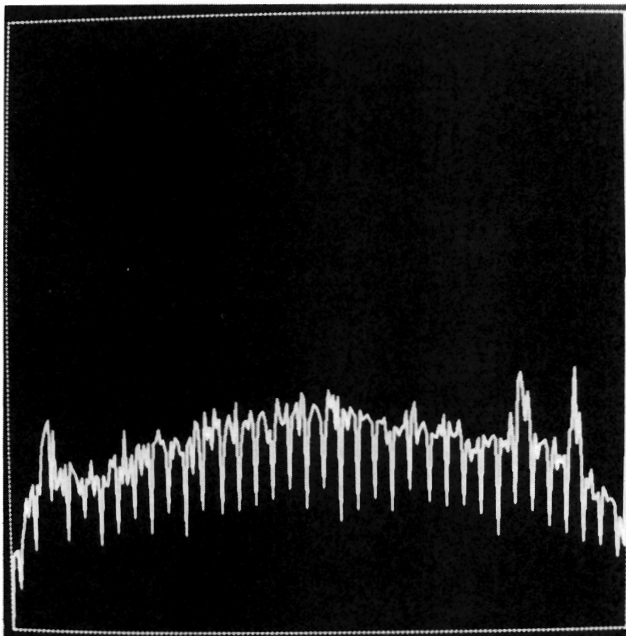


LÁMINA 9. a-Histograma de la lámina 8.

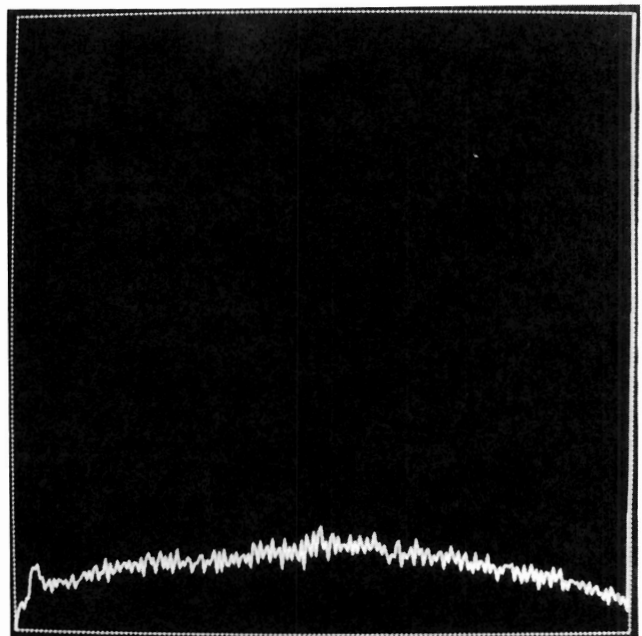


LÁMINA 9. b-Histograma de la corrección de máxima entropía local (ventana  $41 \times 41$ ).

gen, se hace a continuación una corrección de máxima entropía global sobre la imagen corregida en histograma, con ventana  $41 \times 41$ . El resultado se muestra en la lámina 11.

Por último, se ha ensayado un realce de bordes seguido de otra ecualización de máxima entropía global. El resultado se puede ver en la lámina 12a.

Como sistema de identificación de estructuras dudosas se han hecho algunos intentos en el campo de las transformadas espectrales, concretamente con la transformada de Fourier. Se puede ver el espectro de amplitud del relieve visigodo en la lámina 12b. En él se aprecia una estructura típica en su parte central y de forma horizontal, que puede atribuirse a las columnas, al estampado del vestido o a los elementos geométricos laterales, que muestra una periodicidad visible. De la misma forma, si se concluyera que esto es realidad, sería una forma de medida del tamaño medio del estampado, del elemento geométrico o del dibujo de las columnas.

A la vez, los trazos separados de la zona central del espectro, son capaces de caracterizar una determinada estructura. Así, si se consigue aislar las equivalencias forma de espectro/estructura dada en el relieve, el análisis espectral permitirá clasificar dicho relieve dentro de un grupo, asociado por características cronológicas o estilísticas. Este es el camino que se está explorando en este momento en relación con el intento de colaboración interdisciplinaria aquí expuesto.

#### IV.2.4. EJEMPLO 2: CONCLUSIONES

Se han hecho diversos ensayos con la herramienta que se presenta, y algunos de los resultados se muestran en las láminas que se acompañan.

La utilización del falso color en el caso de la escultura

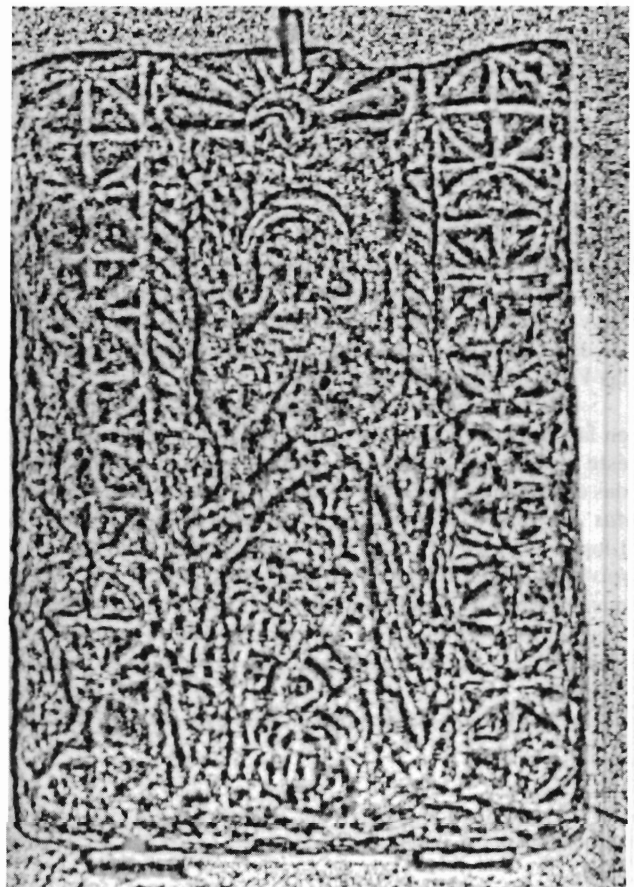


LÁMINA 10. Corrección de máxima entropía local (ventana  $7 \times 7$ ).



LÁMINA 11. Corrección de máxima entropía global sobre la imagen de la lámina 9.

permite hacer una medida subjetiva de la uniformidad de la distribución de la iluminación.

El realce de bordes es una opción que proporciona excelentes resultados en el momento de identificar estructuras dudosas, que luego pueden ser adelgazadas o bordeadas para extraer el máximo de información posible. Una corrección global o local de histograma final permite la adecuación de la información obtenida al sistema visual, lo que aumenta su calidad subjetiva.

Las esculturas tienen características muy particulares, tales como la no uniformidad del conjunto de motivos que aparece en ellas. En el caso que nos ocupa, es absolutamente distinto el aspecto de las representaciones geométricas laterales del que presenta el estampado del vestido o las trifolias.

Se pueden realizar filtros adaptados a algunas características de la imagen. Así es posible aislar el estampado del vestido o el dibujo de una columna, tras un filtrado apropiado de la imagen con dicho filtro adaptado. Esto permitiría el estudio de características escultóricas y estilísticas por separado, con mínima interferencia entre ellas.

Se puede comprobar, a la vista de los resultados espectrales que existen unas formas que dan lugar a espectros muy

característicos. Una línea a seguir es la separación espectral de las estructuras básicas de una escultura, mediante un filtrado o análisis de texturas <sup>15</sup>, por ejemplo, que haría posible una clasificación de elementos dudosos por su estado o por la mezcla de estilos implicados.

Otra aplicación posible es la medida de las estructuras cuasi-periódicas que pueden aparecer. Un análisis espectral es capaz de determinar dimensiones medias en estructuras de este tipo. Por último, otra línea de investigación puede ir encaminada a la medida general de distancias entre los trazos de las esculturas. El resultado es un mapa de distancias <sup>16</sup> superpuesto a la imagen, donde cada punto tiene un nivel de iluminación representativo de la distancia entre los dos trazos geométricos más cercanos que existan en la escultura. Este mapa se puede presentar de diversas formas: en imagen de grises como ya se ha dicho, en color, en levantamiento 3-D <sup>17</sup>, en curvas de nivel, etcétera.

Existe una característica común a todos estos tratamientos. La fiabilidad del resultado depende directamente de la habilidad del usuario del instrumento, en el momento de determinar el proceso a aplicar a una escultura dada.

## V. CONCLUSIONES

En este artículo hemos pretendido evaluar la utilidad del P.D.I. como herramienta de trabajo en Arqueología. La aplicación directa de las técnicas de mejora, realce y restauración habituales ya en otros campos, y de otras específicamente desarrolladas para objetos arqueológicos, ha dado muy diversos resultados. A la hora de estimarlos deben hacerse las siguientes consideraciones:

1. Para simplificar el proceso se han utilizado imágenes de dimensión relativamente pequeña ( $256 \times 256$  píxeles). Ello limita notablemente la profundidad del tratamiento tolerable por la imagen antes de degradarse. Una mejora apreciable en los resultados puede conseguirse elevando la definición hasta  $512 \times 512$  ó  $1.024 \times 1.024$ , incremento este que se traduce también en una fuerte subida del costo del proceso.
2. En su estado actual, este método es de tipo interactivo: el usuario debe guiar el proceso seleccionando los parámetros adecuados en función del tipo de información que desee observar. La calidad de los resultados obtenidos depende, pues, de la experiencia y conocimiento de la herramienta que tenga el usuario.

15 VICENTE, A. et al. «A Visual Perception Approach to Texture Description», *Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference*, Madrid, 1985, pp. 273-78.

16 CISNEROS, G. et al. «Extraction of Graphic Information in Magnetic Domains Images», *Proceedings of the International Conference on Digital Signal Processing*, Florencia, 1984, pp. 524-28.

17 CISNEROS, G. y GARCÍA, N. «Three Dimensional Pictures with Curves and Surfaces in Parametric Coordinates», *Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference*, Madrid, 1985, pp. 213-16.



LÁMINA 12. a-Realce de bordes sobre corrección de máxima entropía global.

3. La calidad de las imágenes procesadas presentadas sobre la pantalla gráfica del ordenador es muy superior a la de las presentadas en las láminas de este artículo. Los procesos fotográfico y de impresión reducen notablemente la cantidad de detalles apreciables en la imagen.

La utilización de este método por arqueólogos en la resolución de problemas reales ha permitido reunir la herramienta para adaptarse de forma óptima a las necesidades de los trabajos arqueológicos.

Queda, pues, demostrada la utilidad del P.D.I. y de otras técnicas próximas en la Arqueología, abriéndose así un

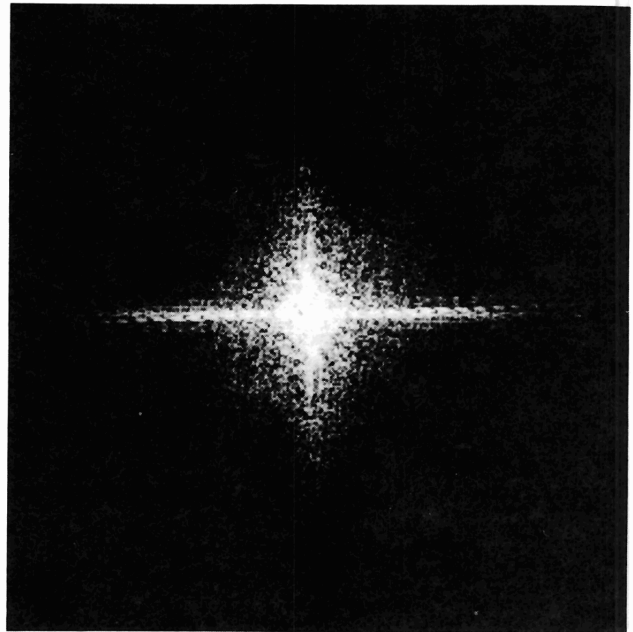


LÁMINA 12. b-Transformada de Fourier de la imagen original (lámina 6a).

nuevo campo de investigación, muy amplio, en el que aún hay mucho por hacer.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores I. García y J. J. Storch de Gracia quieren hacer constar su agradecimiento al D.I.D. de Telefónica por las facilidades dadas para la realización de este trabajo. Por su parte, I. García agradece al Dr. A. U. Stylow (Instituto Arqueológico Alemán, Madrid) sus inestimables sugerencias sobre el epígrafe.