

Documento Gráfico //

Nuevas aportaciones a los sistemas de obtención de datos de la filigrana y su aplicación como una herramienta útil para controlar los procesos de restauración del documento gráfico.

El presente estudio es una revisión de los sistemas de medición de la filigrana y de la verjura buscando su validez como herramienta para el control de los procesos de restauración del documento gráfico. El resultado de los diversos ensayos realizados indica, por una parte, que el microscopio digital es el sistema más óptimo, directo y rápido para dicho objetivo y, por otra parte, demuestra que en los procesos de restauración aplicados prácticamente no hay variación dimensional del papel y que esta se debe, principalmente, al sistema de aplicación y al grado de humedad aportado, así como a la humedad relativa del ambiente.

Ariadna Olivé i Soler. Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Documento Gráfico. ariadnaoliveisoler@gmail.com

María Dolores Díaz de Miranda Macías, o.s.b. Doctora en conservación-restauración, Fundación Casa Ducal de Medinaceli. diazdemiranda@fundacionmedinaceli.org

Palabras Clave: conservación-restauración, documento gráfico, medición y reproducción de la filigrana, microscopio digital, procesamiento de imágenes, humectación del papel.

Fecha de recepción: 11-12-2019 > **Fecha de aceptación:** 18-12-2019



ducirse a través de los tratamientos húmedos del papel. Finalmente, a través de la filigrana y el microscopio digital, se ha estudiado la incidencia de los tratamientos húmedos en las variaciones dimensionales del papel.

LA UTILIDAD DE LA FILIGRANA EN EL CAMPO DE LA CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN DEL DOCUMENTO GRÁFICO

Desde los primeros estudios de filigranas, realizados en 1736 por el polaco Johann Samuel Hering, hasta la actualidad, la filigrana ha ido adquiriendo importancia e interés tanto entre los historiadores e investigadores del papel como entre los conservadores-restauradores, documentalistas, museólogos y bibliófilos, entre otros. Aunque el papel tiene otros elementos identificadores, la representación de la imagen de la filigrana es, sin duda, el elemento que aporta más información sobre la datación, el origen y la ruta comercial de un papel, de aquí la necesidad de trabajar con unos sistemas de medida y reproducción que permitan una información lo más precisa posible, así como su mejor visualización.

Uno de los objetivos y aportaciones inéditas de este estudio ha consistido en emplear la filigrana, dentro del ámbito de la restauración del documento gráfico, como una herramienta útil para el control y el seguimiento en los procesos acuosos de las posibles variaciones dimensionales que se pueden producir en el papel. La herramienta utilizada como sistema de medición y reproducción de la filigrana ha sido el microscopio digital. Su validez para este objetivo es otra de las aportaciones innovadoras de nuestro estudio. **1** [pág. 8]

VISUALIZACIÓN DE LA FILIGRANA

La imagen de la filigrana o marca de agua es resultado de la huella que dejan los hilos metálicos cosidos a la verjura de la forma o en el rodillo afilegranador y se visualiza al observar el papel a contraluz, por el desplazamiento localizado de fibras de la pasta papelera que producen estos hilos metálicos en el momento de la elaboración de la hoja de papel. **2** [pág. 8]

Para poder comprender cómo se produce este efecto de visualización de la filigrana es necesario tener presente el concepto de contraluz.

¹ Este artículo ha sido traducido del original en catalán al castellano por Irene Alanís Fernández, alumna de tercer curso de la especialidad de Conservación y Restauración de Documento Gráfico de la ESCRBC.

INTRODUCCIÓN¹

El presente artículo es fruto del Trabajo Final de Grado de Ariadna Olivé i Soler, titulado *Revisió dels sistemes d'obtenció de dades de la filigrana a fi de proporcionar una eina vàlida per controlar els processos de restauració*, presentado en la ESCRBC en enero de 2017. Los límites comprensibles de extensión, para una publicación como la presente, han obligado a omitir la exposición de parte de los ensayos realizados y presentar directamente algunas de sus conclusiones.

Partiendo de una breve introducción sobre la importancia de la filigrana en el campo de la conservación-restauración del documento gráfico y de los principios físicos que permiten su visualización, después de presentar el estado actual de los procedimientos de reproducción de la imagen de la filigrana, se ofrece el uso del microscopio digital como una nueva herramienta para el estudio de la filigrana y su aplicación como medida de control de efectos no deseables que pueden pro-

Cuando un objeto (pliego de papel) se expone ante un foco luminoso, la luz incidente sobre la superficie del papel presenta tres comportamientos diferentes:

- Una parte es reflejada, en mayor o menor grado en función de la superficie del papel.
- Otra parte es absorbida y queda estancada o alojada en la estructura del papel.
- El resto consigue atravesar el cuerpo y es lo que se denomina luz transmitida.

La combinación y proporción de cada una de las tres situaciones anteriormente señaladas (reflexión, absorción y transmisión) configurarán las características ópticas (blancura, opacidad, brillo, color) del objeto expuesto a la fuente de luz, en nuestro caso, de la hoja de papel.²

Cuando el ojo humano observa el papel ante un foco de luz frontal, la diferencia de transparencia existente entre el grosor normal de la hoja de papel y el grosor menor que produce el hilo de la filigrana es lo que permite visualizar la marca de agua. Parte de la luz incidente atraviesa los diferentes espesores localizados en el grosor de la hoja, por lo que el ojo humano percibe diferencias de luz transmitida y tonos de variada intensidad, cuyos contrastes hacen ver la filigrana. 3

[pág. 8]

SISTEMAS DE REPRODUCCIÓN DE LA FILIGRANA. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Por lo que se refiere a los métodos de reproducción de la filigrana, M^a Dolores Díaz de Miranda hace una recopilación en su artículo *Métodos de reproducción de la imagen de la filigrana*,³ clasificándolos en cuatro grupos principales:

- **Manuales:** calco, frotado.
- **Fotográficos:** fotografía por transparencia, analógica o digital, y por contacto, UV, papel Dylux®, fosforescencia.
- **Radiográficos:** radiografía con rayos X de baja intensidad, betagrafía, electrografía.
- **Otros:** escáner, *Back Light*, Vídeo Espectro Comparador (VSC), termografía.

De cada sistema de reproducción explica sus características y el procedimiento para la obtención de la imagen de la filigrana. A su vez, ofrece unas indicaciones muy prácticas y útiles a tener en cuenta para la correcta obtención de las imágenes. Estas hacen referencia, por ejemplo, al escalado, que debe ser siempre 1:1; algunos sistemas como la fotografía digital y el escaneado son óptimos para algún tipo de documento, como los individuales u hojas sueltas, mientras que para documentos que conforman un libro encuadernado son más idóneos el frotado y la fotografía digital.

Por otro lado, Mark van Staalduin realiza un estudio muy completo centrado en los diferentes sistemas de reproducción digital de la filigrana que recoge en el libro *Content-based Paper Retrieval Towards Reconstruction of Art History*.⁴ El autor se centra en la recuperación de papel, basada en su reproducción digital y el análisis de las características de un pedazo del mismo con el fin de identificar fragmentos de papel idénticos. Partiendo de la idea de que el papel de una misma época tiene características similares, la identificación de filigranas idénticas es muy importante en términos de precisión en la datación de los papeles.

Esta identificación a partir de reproducciones digitales del papel es mucho más rápida y automatizada a través de programas informáticos que la búsqueda manual, ya sea con papel físico o con una reproducción digital. El objetivo principal de la tesis es la investigación y el desarrollo de un sistema de recuperación de documentos basado en las características

del papel, a partir de programas informáticos. Es interesante el capítulo II, donde explica con bastante detalle las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de reproducción utilizados actualmente, tanto los manuales como los realizados en base a las máquinas de reproducción de imágenes, teniendo en cuenta los costes, la complejidad o sencillez del sistema, el tiempo de reproducción y la calidad de la imagen obtenida, entre otros.⁵

Partiendo de estos precedentes, este estudio se centra en el uso de un sistema de recuperación de datos de programas informáticos, teniendo en cuenta las características del papel, como propone Van Staalduin, pero yendo un poco más allá y buscando la aplicación en el campo de la restauración, utilizando como base metodológica el protocolo sobre el estudio del papel y la obtención de la filigrana elaborado por Díaz de Miranda, recogido en *El papel en los archivos*,⁶ del cual en su tesis doctoral hace una comparativa entre varios programas de procesamiento de imagen, así como de sistemas de medición y reproducción de la filigrana para determinar cuál es el más idóneo para realizar el estudio.⁷

PROPUESTA DE UN NUEVO SISTEMA DE MEDIDA Y REPRODUCCIÓN DE LA FILIGRANA

De los diferentes sistemas para estudiar el papel y la filigrana mencionados anteriormente, se buscó la optimización de nuevos sistemas basados en equipos digitales y programas informáticos accesibles para cualquier investigador. Por esto, se realizaron cuatro tipos de ensayos sobre papeles datados entre 1469 y 1471, consistentes en la reproducción y medición de la filigrana y la verjura más próxima a ella, con el objetivo de determinar la eficacia y la calidad de imagen obtenida con una cámara digital (cámara réflex Nikon® D300) y con un microscopio digital (Dino-Lite® PCE-MM200). Aplicando, además, cuatro sistemas de medición diferentes: el programa de procesamiento de imagen LibreCAD, el programa de procesamiento de imagen AutoCAD®, el programa específico del microscopio digital Dino-Lite® PCE-MM200 y la medición manual con una regla milimetrada flexible opaca de color negro.

Los objetivos principales de estos ensayos consistieron en:

- Comprobar la eficacia de los sistemas de medición con programas informáticos.
- Determinar el margen de error entre los diferentes sistemas informáticos y el sistema manual.
- Conocer las prestaciones que ofrece cada uno de los programas estableciendo una comparativa entre ellos.
- Comparar la calidad de imagen tomada por el microscopio digital y la tomada por una cámara fotográfica.

El material y herramientas empleados para realizar estos ensayos han consistido en:

MATERIAL

- Mesa de reproducción con columna fija para cámara fotográfica (Kaiser RS 2 XA)
- Regla milimetrada flexible opaca de color negro, de 50 cm.
- Microscopio digital Dino-Lite® PCE-MM 200
- Caja de luz de lámpara fluorescente de cátodo frío de 5.000° ffl 270° K (Medalight)
- Mesa de soporte
- Pesos pequeños de mármol
- Plancha de metacrilato transparente de 3 mm

² AYALA, M.; PÉREZ, J.M.; SANTOS, L. *Filigranas: las huellas del agua*. Madrid: Real Casa de la Moneda-Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, 2016, p. 75.

³ DÍAZ de MIRANDA, M^a D., "Métodos de reproducción de la imagen de la filigrana". *Unicum*. (2014), nº 13, p. 186-191.

⁴ STAALDUIN, M. Van. *Content-based Paper Retrieval Towards Reconstruction of Art History*. Delft: Delft University of Technology, 2010.

⁵ *Ibid.*, p. 17-38.

⁶ DÍAZ de MIRANDA, M^a D.; HERRERO, A. M^a. *El papel en los archivos*. Gijón: Trea, 2009.

⁷ *Cfr.* DÍAZ DE MIRANDA, M^a D. *Análisis y desarrollo de una base de datos para el estudio del papel y de las filigranas: fuente para la elaboración de la historia del papel en España*. Tesis doctoral inédita. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Belles Arts, 2012, capítulo III, p. 51-75.

EQUIPOS DIGITALES Y SISTEMAS INFORMÁTICOS

- Programa de procesamiento de imagen AutoCAD®
- Programa específico del microscopio digital Dino-Lite® PCE-MM200
- Programa de procesamiento de imagen LibreCAD
- Cámara réflex Nikon® D300
- PC

OPCIONES QUE PERMITE EL MICROSCOPIO DIGITAL

- Distancia de enfoque:** 20 cm entre el objetivo y el papel
- Calibrado:** Manual
- Grado de precisión en la medición:** Hasta el picómetro (permite medir la distancia entre puntizones)
- Escala:** Medida a escala real de la filigrana
- Reproducción:** Captura de una imagen de la filigrana

Las primeras conclusiones que se obtuvieron de los ensayos realizados fueron las siguientes:

- En todos los casos, el margen de error en las mediciones de cualquiera de los sistemas informáticos empleados es similar y a la vez despreciable, ya que está por debajo del picómetro (pm).⁸
- En todos los sistemas, cuanto mayor es la longitud de referencia,⁹ menor margen de error en calibración y escalado.
- La calidad de imagen tomada por el microscopio y por la cámara fotográfica es la misma.
- Todos los sistemas comportan una manipulación similar del documento.
- Se observan ventajas considerables del microscopio digital respecto a los demás sistemas informáticos. Este es más rápido y directo que los otros sistemas, ya que permite medir in situ; por otra parte, en comparación con la cámara fotográfica, su coste es más asequible, es más fácil de transportar y más ligero. Una vez que el microscopio está calibrado, no se necesita referencia real. 4 i 5 (pág. 10)

A partir de estas primeras conclusiones, se determina, pues, que el sistema de medición con el microscopio digital, previamente calibrado, supone el sistema más exacto y óptimo para utilizar dentro del protocolo de análisis de una filigrana. Las conclusiones específicas obtenidas sobre el sistema del programa de microscopio digital y las ventajas o desventajas sobre otros sistemas, tanto informáticos como manuales fueron las siguientes:

- El sistema de medición con el microscopio digital permite la medición de la filigrana con la mínima manipulación del documento, a la vez que permite realizar una fotografía de la filigrana que ofrece información suficientemente ajustada a la realidad y suficientemente representativa para la identificación de la filigrana.
- La opción “línea cruzada” del programa del microscopio permite una mayor precisión en el momento de tomar medidas que no ofrece el sistema de medición manual.
- El rango de enfoque del microscopio digital es bastante limitado, en relación a toda la superficie de la imagen de la filigrana captada por el microscopio, de aquí que si se usa a una distancia superior a los 20 cm respecto al papel, los laterales de la imagen quedan desenfocados.
- Hay un pequeño margen de error que varía en función de los siguientes parámetros:
 - Distancia de enfoque manual entre el objetivo del microscopio y el papel.
 - Margen de error de 0,001 mm en el calibrado del microscopio a causa de, principalmente, tres factores: aumento utilizado, resolución de la pantalla del PC de trabajo y calibración adecuada.
 - Utilización simultánea de instrumentos de diferente precisión: el microscopio llega al picómetro (micrómetro y nanómetro) mientras que la regla llega al milímetro.

UTILIZACIÓN DE LOS DATOS DE LAS FILIGRANAS PARA EL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LOS PROCESOS ACUOSOS EN LA RESTAURACIÓN DEL DOCUMENTO GRÁFICO

Para analizar si la aplicación de procesos de humectación, directa o indirecta del papel, produce o no alteraciones dimensionales en este, se realizó un ensayo utilizando papel con filigranas idénticas y similares,¹⁰ con los siguientes objetivos:

- Determinar si hay o no variaciones dimensionales en un papel una vez intervenido a partir del sistema de medición con microscopio digital.
- Determinar el grado de incidencia del sistema de humectación usado durante la intervención en las posibles variaciones dimensionales del papel a partir de los resultados de las medidas.
- Determinar el grado de incidencia del tipo de aplanado utilizado después de la intervención en las posibles variaciones dimensionales del papel a partir de los resultados de las mediciones.
- Comprobar el margen de error de las medidas tomadas con el microscopio a partir de la comparativa con las medidas tomadas manualmente.
- Aplicación del protocolo para el estudio del papel y la obtención de la filigrana establecido por M^a Dolores Díaz de Miranda¹¹ en un conjunto de papeles previamente seleccionados.

Las muestras utilizadas para realizar el ensayo consisten en 18 hojas del *Libre del degà* (1208-1608). Caja 308, número 1391, perteneciente al *Arxiu Capítular de la Catedral Basílica Metropolitana de Tarragona*.

Este libro fue seleccionado, ya que se tenía que desmontar y aplicar diferentes tratamientos acuosos sobre el papel a causa, por una parte, del mal estado de las cubiertas de la encuadernación y las rupturas del cosido y, por otra parte, del grado de acidez y corrosión de las tintas metaloácidas sobre el papel del cuerpo del libro, el cual requería la aplicación de diferentes tratamientos acuosos.

METODOLOGÍA

Tal como indicábamos anteriormente, el libro precisaba de una intervención.

Una vez desmontado el libro, y habiendo hecho previamente el esquema de construcción y organización de los cuadernillos, se determinó el protocolo de estudio del papel y de las filigranas basado en los resultados obtenidos en los apartados anteriores. Se escogieron 18 papeles que se sometieron a diferentes procesos acuosos:

⁸ 1 pm = 1 x 10⁻¹² m.

⁹ Línea continua trazada de una longitud determinada ya conocida, a partir de la cual se calibra el sistema de medición del programa del microscopio.

¹⁰ Filigranas idénticas: filigranas provenientes de la misma forma y, por lo tanto, con el mismo dibujo. Filigranas similares: provenientes de un mismo molino papelerero que presentan la misma filigrana pero con diferencias notorias que permiten descartar que hayan salido de la misma forma.

¹¹ DE MIRANDA, M^a D. *Análisis y desarrollo de una base de datos...*, capítulo III, p. 58-57 y capítulo V, p. 130 ss.

MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MAQUINARIA EMPLEADOS DURANTE EL PROCESO DE RESTAURACIÓN

- Trapos de tejido no tejido Sontara® (0,35 mm de grosor)
- Cámara de humedad
- Cubetas blancas de plástico
- Prensa manual e hidráulica
- Láminas de Reemay® gruesas y finas
- Pesos de mármol y maderas
- Agua destilada
- Gelatina al 3% en agua destilada
- Papeles secantes
- Humidificador

MATERIAL Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS PARA LA REPRODUCCIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS DE LA IMAGEN

- Papel de calco vegetal Canson, de 90 gr (20 x 15 cm)
- Regla milimetrada flexible transparente
- Papel barrera, de 40 gr (20 x 15 cm)
- Microscopio digital Dino-Lite® PCE-MM 200
- Plancha de metacrilato transparente
- Caja de luz de lámpara fluorescente de cátodo frío de 5.000° ffl 270° K (Medalight)
- Mesa de reproducción con una columna fija
- Programa específico del microscopio digital
- PC

1. Selección de los papeles, protocolo de estudio y parámetros de medición de la filigrana

A partir del estudio de las filigranas se pudo determinar que este libro estaba formado por papeles salidos de tres formas papeleras, ya que se detectaron dos filigranas gemelas,¹² y otra filigrana muy similar a estas dos, pero con algunas variaciones dimensionales y morfológicas. La utilización de filigranas idénticas y gemelas permite asegurar que se trabaja con papeles salidos de la misma forma papeleras y, por tanto, con características idénticas.

Siguiendo el protocolo desarrollado en los ensayos del apartado anterior, se documentaron todas las filigranas de los 18 papeles. De cada filigrana se ha hecho una ficha diferente. Los parámetros empleados del microscopio han sido los mismos durante todo el proceso: **6** i **7** [pág. 12]

PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO

- Distancia entre papel y microscopio:** 270 mm
- Aumentos:** 5x
- Escala de ampliación:** 4,6
- Longitud de referencia:** 70 mm

Las medidas tomadas a cada filigrana siempre han sido de los mismos parámetros indicados en las imágenes **8** i **9** [pág. 12]:

2. Clasificación de los papeles en diferentes grupos según el proceso de humectación utilizado

Para la intervención se han empleado tres sistemas de humectación diferentes: en cámara de humedad, por inmersión y por capilaridad; para cada sistema se han aplicado dos sistemas de aplanado: a partir de prensa y con pesos.

¹² Filigranas gemelas: con- junto de dos filigranas muy similares, en la que cada una está fijada a un lado de las dos formas que el obrero de la tina manipula alternativa- mente; a partir del siglo X, una estará en la mitad derecha de la forma y la otra en la izquierda.

| Sistemas de humectación | Tipos de humectación | Temperatura | Temporalización | Material | Secado | Aplanado |
|-----------------------------|--|-------------|--|---|--------------------------|------------------------|
| Por inmersión | Directa (agua) por inmersión | Ambiente | 10-15 min | 2 láminas de Reemay® finas; cubeta blanca; 2 rejillas de plástico; agua | Por oreo, en el secadero | Prensa vertical manual |
| | | | | | | Bajo pesos |
| En cámara de humedad | Directa (aplicación controlada de humedad) | | 10-15 min | Cámara de humedad; hules; lámina de Reemay® | | Prensa hidráulica |
| | | Bajo pesos | | | | |
| Por capilaridad | Indirecta (por capilaridad) | 45 min | Trapos de tejido no tejido Sontara®; 2 tableros de madera; cubeta; lámina de Reemay® | Prensa hidráulica | | |
| | | | | Bajo pesos | | |

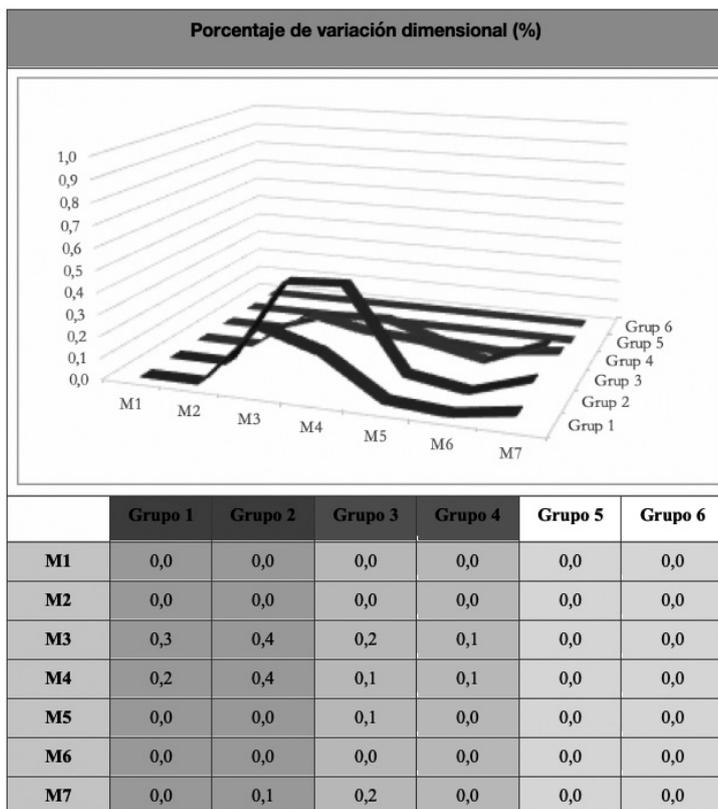
Se hicieron seis grupos de tres papeles cada uno, combinando los diferentes sistemas de humectación y de aplanado. 10 al 15 [pág. 14]

| Grupos | Sistema de humectación | Sistemas de aplanado |
|--------|------------------------|------------------------|
| 1 | Por inmersión | Presna vertical manual |
| 2 | | Pesos |
| 3 | En cámara de humedad | Presna hidráulica |
| 4 | | Pesos |
| 5 | Por capilaridad | Presna hidráulica |
| 6 | | Pesos |

13 El sistema utilizado para sumergir un documento en agua implica que el documento, entre láminas de Reemay®, se va introduciendo paulatimamente en el baño desde una de sus esquinas, manteniendo un ángulo de unos 45° con la superficie del agua. En cambio, en la cámara de humectación es el propio papel el que va absorbiendo desde toda su superficie la humedad del interior de la cámara.

3. Resultados obtenidos después de la aplicación de los sistemas de humectación

El resultado de la variación dimensional detectada en las filigranas de los papeles antes y después de ser sometidos a determinados procesos acuosos son los siguientes:



| Legenda de los sistemas de humectación | |
|--|----------------------|
| Grupo 1 y 2 | Por inmersión |
| Grupo 3 y 4 | En cámara de humedad |
| Grupo 5 y 6 | Por capilaridad |

A partir de los resultados obtenidos se han extraído las siguientes conclusiones:

- Las variaciones han sido insignificantes, ya que son inferiores al 0,4% en los parámetros estudiados de la filigrana.
- Estas variaciones dimensionales están condicionadas al sistema de humectación empleado, independientemente del sistema de aplanado utilizado.
- Los elementos significativos del cambio dimensional son: el grado de humedad aplicado, el nivel de HR del ambiente y el sistema de aplicación esta humedad.
- **Sistema de humectación por inmersión:** supone el sistema más agresivo y directo, ya que la absorción de humedad del papel es mucho más rápida y mayor en muy poco tiempo (10 min). Como consecuencia, las variaciones dimensionales han sido mayores que con los otros dos sistemas. Variaciones dimensionales del 0,4%.
- **Sistema de humectación con cámara de humedad:** la humedad aplicada es más controlada y homogénea que el sistema por inmersión,¹³ pero el tiempo de humectación es mayor, ya que es de 24 h. Variaciones dimensionales del 0,2%.
- **Sistema de humectación por capilaridad:** la humedad penetra por una de las caras del documento, por capilaridad. Sistema más lento y menos regular en cuanto a la humectación. El papel está menos tiempo humectándose (45 minutos). No hay variaciones dimensionales.

CONCLUSIONES

A. Revisión de los sistemas de reproducción y medición de la filigrana y su verjura

A partir de los primeros ensayos realizados se determina que el programa AutoCAD® y LibreCAD ofrecen unas prestaciones muy similares en cuanto a la precisión en las medidas de una imagen, aunque el procedimiento para hacer el escalado de la imagen es diferente. La principal diferencia entre el AutoCAD® y el LibreCAD es que el primero se trata de un programa de pago mientras que el LibreCAD es un *software* libre, que se puede instalar en cualquier ordenador de manera gratuita.

En cuanto al microscopio digital, este ofrece una medición de la filigrana mucho más directa y rápida, ya que permite trabajar *in situ*; desde la misma visualización a través del microscopio se puede calibrar y medir, sin tener que tomar una fotografía y trabajar *a posteriori*. A su vez, permite guardar la calibración y medir de manera seriada un conjunto de papeles, sin modificar los parámetros y sin tener que mantener la referencia real (regla) durante todo el proceso de medición.

La validez es similar en todos los programas, tanto los de procesamiento de imagen como el del microscopio digital, con un margen de error entre 0,0002 y 0,007 mm y, por tanto, muy poco significativo y, en todo caso, muy inferior al margen de error ofrecido por el sistema de medición manual. Tanto en la calibración del microscopio digital como en el escalado de los programas de procesamiento de imagen es necesaria una referencia real, en este caso una regla. Una vez hecha la calibración, en el caso del microscopio, a diferencia de los otros sistemas, no es necesario emplear la referencia real, ya que esta queda guardada y, en todo caso, solo se empleará para comprobar que la calibración del microscopio sea correcta. En el caso de los programas de procesamiento de imagen se mantendrá la referencia real siempre para comprobar que el escalado es correcto. El sistema de medición a partir de programas informáticos, además de una mayor precisión respecto a la medición manual, ofrece la mínima manipulación del documento. Esta mayor precisión se explica, principalmente, por el hecho de que los programas informáticos pueden llegar a medir con unidades que llegan al picómetro, mientras que el sistema manual solo llega al medio milímetro, ya que es lo que puede ver el ojo humano y, a su vez, es

la unidad más pequeña de referencia de la regla. Uno de los factores controlables que repercuten en la precisión en la medición de la imagen es la longitud de referencia empleada, que debe ser la mayor posible: cuanto mayor es la longitud de referencia menor es el error de medida.

Se han detectado ciertas problemáticas en cuanto a la medición de filigranas de libros manuscritos encuadernados, ya que su manipulación es bastante dificultosa a la vez que la precisión en el momento de hacer la medición es menor que la de un documento suelto. Por otra parte, el rango de enfoque del microscopio digital tiene cierta limitación en relación a toda la superficie captada por el microscopio, de ahí que, si se emplea a una distancia superior al centímetro respecto al papel, los laterales de la imagen queden desenfocados.

B. Aplicación de los sistemas informatizados de toma de datos en el campo de la restauración

A partir de los primeros ensayos se ha podido comprobar que el sistema de medición con microscopio digital es más rápido y directo que los otros sistemas, ya que permite medir *in situ* los papeles, a la vez que el margen de error es muy similar. Cabe añadir que el microscopio digital tiene un coste mucho más asequible que el de una cámara fotográfica¹⁴ y es más fácil de transportar, ya que las dimensiones son mucho más pequeñas (110 x 33 mm) y es más ligero (90 gr). Con el fin de obtener una medición con el mínimo margen de error, se debe indicar que hay que tener en cuenta las siguientes premisas:

- Utilizar siempre el mismo aumento durante todo el proceso de medición.
- Utilizar la misma distancia entre el microscopio y el papel durante todo el proceso de medición.
- Hacer una comprobación con una referencia real (regla).
- Utilizar siempre la misma calibración durante todo el proceso de medición.
- Utilizar la misma longitud de referencia para realizar la calibración.
- Tener el papel bien aplanado con un metacrilato y, si fuera necesario, con pesos sobre el metacrilato.
- No mover el papel durante el proceso de medición.
- Trabajar con la opción "línea cruzada" del programa del microscopio, para colocar lo más recto posible el papel, tomando como referencia la orientación de los puntizones.
- En las segundas mediciones de un mismo papel, comparar los puntos de partida de las primeras mediciones.
- Hacer capturas de pantalla de cada medición de una imagen.
- Emplear una longitud de referencia lo más grande posible: cuanto mayor es la longitud de referencia, menor es el error de medición.

Se debe tener en cuenta que, a pesar de la eficacia del sistema de medición con microscopio digital, hay una serie de parámetros que influyen en el comportamiento del papel durante el proceso de intervención de los documentos que, normalmente, no son medidos ni controlados; como son el porcentaje de humedad aplicada a los papeles durante los procesos de humectación, la humedad relativa ambiental y la temperatura ambiental previa al proceso, durante y posterior a éste y el grado de desfibrado de las fibras de los papeles que, si bien es cierto, será similar en los papeles salidos del mismo molino papelerero. Hay que añadir también que la calibración del microscopio se hace a partir de la observación con el ojo humano y, por tanto, puede haber una cierta inexactitud, tanto en los aumentos como en la medida con regla en el momento de calibrar.

NUEVAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de las conclusiones obtenidas, se pone de manifiesto

que el nivel de humedad relativa es un condicionante importante a tener en cuenta de cara a las posibles variaciones dimensionales de un documento durante un proceso de humectación. La cámara de humedad permite regular el nivel de HR del ambiente dentro de la cámara, por eso resultaría interesante poder realizar más pruebas con este sistema de humectación empleando diferentes grados de humedad y tiempo de humectación.

Habría que hacer este estudio en grupos de papel según su datación, a fin de comprobar si hay variaciones de comportamientos en los papeles según la época a la que pertenecen.

Quedaría pendiente hacer el análisis de fibras de los papeles para saber si la composición de la fibra que conforma el papel puede repercutir realmente en las variaciones dimensionales de éste una vez intervenido. De esta manera se podría medir uno de los parámetros no controlables en el presente trabajo.

Habría que investigar más profundamente los sistemas de reproducción de la imagen de la filigrana como el *Back Light*, el cual se basa en la obtención de imágenes por contraluz. El papel que contiene la filigrana es iluminado con una fuente de luz uniforme y esta es captada por una cámara digital. También se llama fotografía de luz transmitida, porque los fotones son transmitidos desde la fuente de luz hacia el papel y, por transparencia, se puede hacer visible exclusivamente la estructura del papel. Este sistema puede resultar muy útil para documentos que tengan mucho texto, y que impidan visualizar correctamente la filigrana. La sustracción de imágenes se hace a partir de una imagen, captada con la cámara, del papel con la luz transmitida y una imagen, captada con la misma cámara, del papel sin la luz transmitida y una fuente de luz uniforme orientada hacia el documento, encendida. Como resultado se obtiene una imagen con solo las estructuras del papel, es decir, con la verjura y la filigrana, y sin que se vean los elementos sustentados. Es importante no mover el papel que se está fotografiando entre una captura y otra, para que la sustracción de píxeles de las imágenes sea la correcta. Resultaría interesante comprobar si la sustracción de imágenes es posible con un programa como Adobe® Photoshop, ya que siendo así, resultaría un sistema sencillo y económico, bastante asequible a cualquier usuario.

IMÁGENES

1 Ejemplo de filigrana de líneas en el papel (Fotografía: M^o D. Díaz de Miranda).

2 Detalle del cosido de los hilos de la filigrana en la forma de una máquina redonda de papel continuo (Fotografía: M^o D. Díaz de Miranda).

3 Transmisión y reflexión de la luz en el papel (Imagen obtenida de: AYALA, M.; PÉREZ, J.M.; SANTOS, L. *Filigranas: las huellas del agua*. Madrid: Real Casa de la Moneda-Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, 2016, p. 76).

4 y **5** Montaje del microscopio digital para la toma de medidas y reproducción de una filigrana y visualización del proceso con el programa del microscopio digital (Fotografía: A. Olivé).

6 y **7** Calibrado del microscopio digital a partir de una longitud de referencia y medición de la filigrana (Fotografía: A. Olivé).

8 y **9** Esquema de referencia de medición para las filigranas (Edición: A. Olivé).

¹⁴ Para este estudio en concreto, se pueden encontrar microscopios válidos a partir de los 90 €.

10, 11 y 12 Sistema de humectación por inmersión (izquierda), por cámara de humedad (centro) y por capilaridad, con trapos de tejido no tejido Sontara® (derecha) (Fotografía: Mª D. Díaz de Miranda y A. Olivé).

13, 14 y 15 Sistemas de aplanado: prensa manual (izquierda), prensa hidráulica (centro) y pesos de mármol (derecha) (Fotografía: Mª D. Díaz de Miranda y A. Olivé).

BIBLIOGRAFÍA

AYALA, M.; PÉREZ, J.M.; SANTOS, L. *Filigranas: las huellas del agua*. Madrid: Real Casa de la Moneda-Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, 2016.

BERNSTEIN: THE MEMORY OF PAPER. [En línea]: <http://www.memoryofpaper.eu/BernsteinPortal/appl_start_disp#> [Consulta: 7 enero 2017].

CABRERA ALFONSO, A.; AMADOR AMADOR, R. "Filigranas papeleras. Aproximación a su estudio a través de los archivos familiares". *Revista de Historia Canaria* (2005), nº 187, p. 39-53. Disponible en línea en: <[http://publica.webs.ull.es/upload/REV%20HISTORIA%20CANARIA/187%20-%202005/04%20\(Alicia%20Mar%C3%ADa%20Cabrera%20Afonso%20y%20Reyes%20Amador%20Amador\).pdf](http://publica.webs.ull.es/upload/REV%20HISTORIA%20CANARIA/187%20-%202005/04%20(Alicia%20Mar%C3%ADa%20Cabrera%20Afonso%20y%20Reyes%20Amador%20Amador).pdf)> [Consulta: 13 septiembre 2016].

DÍAZ de MIRANDA, Mª D.; HERRERO, A. Mª "Propuesta de estudio y reproducción de filigranas". En: *Actas del V Congreso Nacional de Historia del Papel en España*. Sarriá de Ter: Curbet Comunicació Gràfica, 2003, p. 135-147. Disponible en línea en: <http://diazdemiranda.com/wp-content/archivos/Protocolo_Filigranas_DM_r-1.pdf> [Consulta: 1 diciembre 2019].

DÍAZ de MIRANDA, Mª D.; HERRERO, A. Ma. *El papel en los archivos*. Gijón: Trea, 2009.

DÍAZ de MIRANDA, Mª D. "Las filigranas de los Incunables Españoles a través de los estudios de Gerard van Thienen". *Boletín del CAHIP*. Vol 2 (2010), nº 8, p. 2-6. Disponible en línea en: <<http://www.cahip.org/boletines/Boletin8.pdf>>. [Consulta: 1 diciembre 2019].

DÍAZ de MIRANDA, Mª D. *Análisis y desarrollo de una base de datos para el estudio del papel y de las filigranas: fuente para la elaboración de la historia del papel en España*. Tesis doctoral inédita. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Belles Arts, 2012.

DÍAZ de MIRANDA, Mª D., "Métodos de reproducción de la imagen de la filigrana". *Unicum*. (2014), nº. 13, p. 186-191.

DÍAZ de MIRANDA, Mª D. "Significado del uso de la filigrana o marca de agua". *Filigranas. Revista del Centre d'Estudis del Museu Valencià del Paper*, (2015) nº 5, p. 11. Disponible en línea en: <http://diazdemiranda.com/wp-content/archivos/DM_filigranas_uso-1.pdf>. [Consulta: 1 diciembre 2019].

DÍAZ de MIRANDA, Mª D.; SÁNCHEZ, J.; ROJO, L. "Estudio de los métodos de reproducción de las marcas de agua en los documentos medievales". En: *XII Congreso Internacional de Historia del Papel en la Península Ibérica, Santa Maria da Feira, 28-30 de junio 2017*, Tomo 1 Santa Maria da Feira (Portugal): Asociación Hispánica de Historiadores del Papel, 2017, p. 431-457.

HIDALGO, Mª C. "Sistemas tradicionales en la reproducción de filigranas". En: *Actas del I Congreso Nacional de Historia del Papel en España y sus Filigranas*. Barcelona: AHHP (Asociación Hispánica de Historiadores del Papel), 1995, p. 352.

OLIVÉ i SOLER, A. *Revisió dels sistemes d'obtenció de dades de la filigrana a fi de proporcionar una eina vàlida per controlar els processos de restauració*. Trabajo Final de Grado inédito. Barcelona: ESCRBC, 2017.

PAGÈS RABAL, X. *Els molins paperers de Catalunya. Una aproximació per a la seva protecció patrimonial*. Director: Carlos Marmolejo Duarte. Proyecto Final de Máster Oficial inédito. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2012. Disponible en línea en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17730/XavierPages_TFM.pdf>. [Consulta: 17 octubre 2016].

PEDRAZA, M.; CLEMENTE Y.; DE REYES, F. *El libro antiguo*. Madrid: Síntesis, 2003.

STAALDUINEN, M. Van. *Content-based Paper Retrieval Towards Reconstruction of Art History*. Delft: Delft University of Technology, 2010.