

Noves aportacions als sistemes d'obtenció de dades de la filigrana i la seva aplicació com a una eina útil per controlar els processos de restauració del document gràfic.

El present estudi és una revisió dels sistemes de mesura de la filigrana i la verjura buscant la seva validesa com a eina per al control dels processos de restauració del document gràfic. El resultat dels diversos assajos realitzats indica, per una banda, que el microscopi digital és el sistema més òptim, directe i ràpid per a tal objectiu i, per altra banda, demostra que pràcticament no hi ha variació dimensional del paper i que aquesta es deu, principalment, al sistema d'aplicació i al grau d'humitat aplicat, així com a la humitat relativa de l'ambient.

New Contributions to the Systems of Obtaining Data on Watermarks and their Application as a Useful Tool to Monitor the Processes of Restoring Graphic Documents

This study is a review of the systems to measure watermarks and 'fingerprints' and investigate their validity as tools to monitor the processes of restoring graphic documents. The findings of the different tests carried out indicate, on the one hand, that the digital microscope is the best, most direct and fastest system for said purpose and, on the other hand, show that in the restoration methods applied there is almost no dimensional variability in the paper and that this is due, mainly, to the process and the degree of humidity introduced, as well as the relative humidity of the environment.

Ariadna Olivé i Soler.

Titulada Superior en Conservació i Restauració de Béns Culturals en l'especialitat de Document Gràfic.
Post Graduate Degree in Preservation and Restoration of Cultural Heritage specialising in Graphic Documents.
ariadnaoliveisoler@gmail.com

María Dolores Díaz de Miranda Macías, o.s.b.

Doctora en conservació-restauració, Fundación Casa Ducal de Medinaceli.
Doctor in Preservation and Restoration, Fundación Casa Ducal de Medinaceli.
diazdemiranda@fundacionmedinaceli.org

Paraules clau: Conservació-restauració, document gràfic, mesura i reproducció de la filigrana, microscopi digital, processament d'imatges, humectació del paper.
Keywords: Preservation-restoration, graphic documents, measuring and reproducing the watermark, digital microscope, image processing, moisture in paper.

Data de recepció: 11-12-2019 > **Data d'acceptació:** 18-12-2019 / **Date received:** 11-12-2019 > **Date accepted:** 18-12-2019



INTRODUCCIÓ

El present article és fruit del Treball Final d'Ariadna Olivé i Soler, titulat *Revisió dels sistemes d'obtenció de dades de la filigrana a fi de proporcionar una eina vàlida per controlar els processos de restauració*, presentat a l'ESCRBCC el gener de l'any 2017. Els límits comprensibles d'extensió, per a una publicació com la present, han obligat a ometre l'exposició de part dels assajos realitzats i presentar directament algunes de les seves conclusions.

Partint d'una breu introducció de la importància de la filigrana en el camp de la conservació-restauració del document gràfic i dels principis físics que permeten la seva visualització, després de presentar l'estat actual dels procediments de reproducció de la imatge de la filigrana, s'ofereix l'ús del microscopi digital com una nova eina per a l'estudi de la filigrana i la seva aplicació com a mesura de control d'efectes no desitjables que poden produir-se a través dels tractaments en humit del paper. Finalment, a través de la filigrana i el microscopi digital, s'ha estudiat la incidència dels tractaments humits en les variacions dimensionals del paper.

LA UTILITAT DE LA FILIGRANA EN EL CAMP DE LA CONSERVACIÓ-RESTAURACIÓ DEL DOCUMENT GRÀFIC

Des dels primers estudis de filigranes, fets l'any 1736 pel polonès Johann Samuel Hering, fins a l'actualitat, la

filigrana ha anat prenent importància i interès tant entre els historiadors i investigadors del paper com entre els conservadors-restauradors, documentalistes, museòlegs i bibliòfils, entre d'altres. Tot i que el paper té altres elements identificadors, la representació de la imatge de la filigrana és, sens dubte, l'element que aporta més informació sobre la datació, l'origen i la ruta comercial d'un paper, d'aquí la necessitat de treballar amb uns sistemes de mesura i reproducció que permetin una informació la més precisa possible, així com la seva millor visualització.

Un dels objectius i aportacions inèdites d'aquest estudi ha consistit a emprar la filigrana, dins de l'àmbit de la restauració del document gràfic, com a una eina útil per al control i el seguiment en els processos aquosos de les possibles variacions dimensionals que es poden produir al paper. L'eina emprada com a sistema de mesura i reproducció de la filigrana ha estat el microscopi digital. La seva validesa per a aquest objectiu és una altra de les aportacions innovadores del nostre estudi. **1**

VISUALITZACIÓ DE LA FILIGRANA

La imatge de la filigrana o marca d'aigua és resultat de l'empremta que deixen els fils metàl·lics cosits a la verjura de la forma o en el rodet afilligranador i es visualitza a l'observar el paper a contrallum, pel desplaçament

¹ 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.



[1] Exemple de filigrana de línies en el paper (Fotografia: Ma. D. Díaz de Miranda).

localitzat de fibres de la pasta paperera que produeixen aquests fils metàl·lics en el moment de l'elaboració del full de paper. ²

Per tal de poder comprendre com es produeix aquest efecte de visualització de la filigrana és necessari tenir present el concepte de contrallum.

Quan un objecte (plec de paper) s'exposa davant un focus lluminós, la llum incident sobre la superfície del paper presenta tres comportaments diferents:

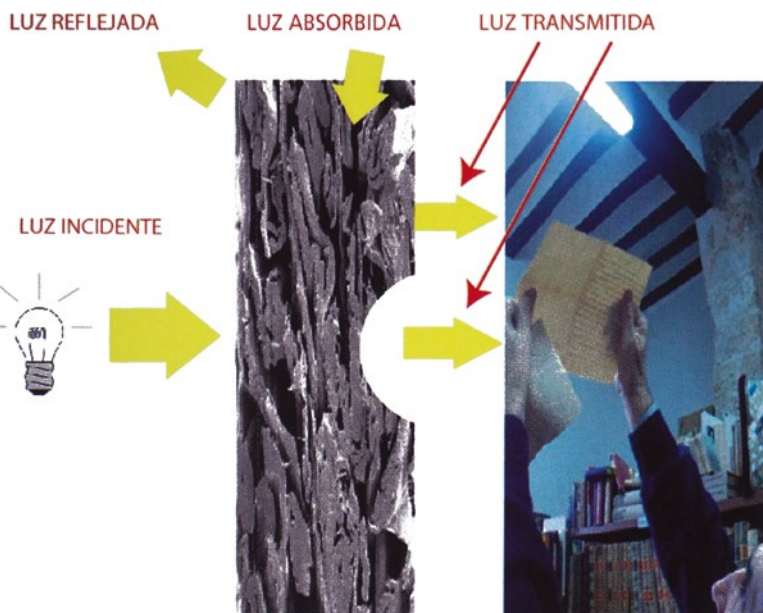
- Una part és reflectida, en major o menor grau en funció de la superfície del paper.
- Una altra part és absorbida i queda estancada o allotjada a l'estructura del paper.
- La resta aconseguix travessar el cos i és el que es denomina llum transmesa.

La combinació i proporció de cada una de les tres situacions anteriorment assenyalades (reflexió, absorció i transmissió) configuraran les característiques òptiques (blancor, opacitat, brillantor, color) de l'objecte exposat a la font de llum, en el nostre cas, del full de paper. ¹

Quan l'ull humà observa el paper davant d'un focus de llum frontal, la diferència de transparència existent entre el gruix normal del full de paper i el gruix menor que produeix el fil de la filigrana és el que permet visualitzar la marca d'aigua. Part de la llum incident travessa els diferents gruixos localitzats en el gruix del full, de manera que l'ull humà percep diferències de llum transmesa i tons de variada intensitat, els contrastos dels quals fan visualitzar la filigrana. ³



2



3

[2] Detall del cosit dels fils de la filigrana a la forma d'una màquina rodona de paper continu (Fotografia: Ma. D. Díaz de Miranda).

[3] Transmissió i reflexió de la llum al paper (Imatge obtinguda 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).

SISTEMES DE REPRODUCCIÓ DE LA FILIGRANA. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

Pel que fa als mètodes de reproducció de la filigrana, Ma. Dolores Díaz de Miranda en fa un recull al seu article *Mètodes de reproducció de la imatge de la filigrana*,² classificant-los en quatre grups principals:

- **Manuals:** calc, fregat.
- **Fotogràfics:** fotografia per transparència, analògica o digital, i per contacte, UV, paper Dylux®, fosforescència.
- **Radiogràfics:** radiografia amb rajos X de baixa intensitat, betagrafia, electrografia.
- **Altres:** escàner, *Back Light*, Vídeo Espectro Comparador (VSC), termografia.

De cada sistema de reproducció n'explica les seves característiques i el procediment per l'obtenció de la imatge de la filigrana. A la vegada, ofereix unes indicacions molt pràctiques i útils a tenir en compte per a la correcta obtenció de les imatges. Aquestes fan referència, per exemple, a l'escalat, el qual ha de ser sempre 1:1; alguns sistemes com la fotografia digital i l'escanejat són òptims per algun tipus de document, com aquells individuals o fulls solts, mentre que per a documents que conformen un llibre enquadernat són més idonis el fregat i la fotografia digital.

Per altra banda, Mark van Staalduinen fa un estudi molt complet centrat en els diferents sistemes de reproducció digitals de la filigrana que recull al llibre *Content-based Paper Retrieval Towards Reconstruction of Art History*.³ L'autor se centra en la recuperació de paper, basada a partir de la seva reproducció digital i l'anàlisi de les característiques d'un tros d'aquest per tal d'identificar fragments de paper idèntics. Partint de la idea que el paper d'una mateixa època té unes característiques similars, la identificació de filigranes idèntiques té una gran importància pel que fa a la precisió en la datació dels papers.

Aquesta identificació a partir de reproduccions digitals del paper és molt més ràpida i automatitzada a través de programes informàtics que la cerca manual, sigui amb el paper físic o amb una reproducció digital. El principal objectiu de la tesi és la investigació i desenvolupament d'un sistema de recuperació de documents basat en les característiques del paper, a partir de programes informàtics. Resulta interessant el capítol II, on explica de manera força detallada els avantatges i desavantatges dels diferents sistemes de reproducció emprats actualment, tant els manuals com els fets a partir de màquines de reproducció d'imatge, tenint en compte els costos, la complexitat o senzillesa del sistema, el temps de reproducció i la qualitat de la imatge obtinguda, entre d'altres.⁴

Partint d'aquests precedents, el present estudi se centra en l'ús d'un sistema de recuperació de dades a partir de programes informàtics, tenint en compte

les característiques del paper, tal com ja proposa Van Staalduinen, però anant una mica més enllà i buscant l'aplicació en el camp de la restauració, emprant com a base metodològica el protocol sobre l'estudi del paper i l'obtenció de la filigrana elaborat per Díaz de Miranda, recollit a *El papel en los archivos*,⁵ del qual a la seva tesi doctoral fa una comparativa entre diversos programes de processament d'imatge, així com de sistemes de mesura i reproducció de la filigrana per determinar quin és el més idoni per realitzar l'estudi.⁶

PROPOSTA D'UN NOU SISTEMA DE MESURA I REPRODUCCIÓ DE LA FILIGRANA

Dels diversos sistemes per estudiar el paper i la filigrana mencionats anteriorment, es va buscar l'optimització de nous sistemes basats en equips digitals i programes informàtics accessibles per a qualsevol investigador. Per això, es varen fer quatre tipus d'assajos sobre papers datats entre els anys 1469 i 1471, consistents en la reproducció i mesurament de la filigrana i la verjura més pròxima a ella, amb l'objectiu de determinar l'eficàcia i la qualitat d'imatge obtinguda amb una càmera digital (càmera rèflex Nikon® D300) i amb un microscopi digital (Dino-Lite® PCE-MM200). Aplicant, a més, quatre sistemes de mesurament diferent: el programa de processament d'imatge LibreCAD, el programa de processament d'imatge AutoCAD®, el programa específic del microscopi digital Dino-Lite® PCE-MM200 i el mesurament manual amb un regle mil·limetrat flexible opac de color negre.

Els objectius principals d'aquests assajos van consistir en:

- Comprovar l'eficàcia dels sistemes de mesura amb programes informàtics.
- Determinar el marge d'error entre els diferents sistemes informàtics i el sistema manual.
- Conèixer les prestacions que ofereix cada un dels programes establint una comparativa entre ells.
- Comparar la qualitat d'imatge presa pel microscopi digital i la presa per una càmera fotogràfica.

El material i eines emprats per realitzar aquests assajos han consistit en:

MATERIALS

- Taula de reproducció amb columna fixa per a càmera fotogràfica (Kaiser RS 2 XA)
- Regle mil·limetrat flexible opac de color negre, de 50 cm.
- Microscopi digital Dino-Lite® PCE-MM 200
- Caixa de llum de làmpada fluorescent de càtode fred de 5.000° ffl 270° K (Medalight)
- Taula de suport
- Pesos petits de marbre
- Planxa de metracrilat transparent de 3 mm

EQUIPS DIGITALS I SISTEMES INFORMÀTICS

- Programa de processament d'imatge AutoCAD®
- Programa específic del microscopi digital Dino-Lite® PCE-MM200
- Programa de processament d'imatge LibreCAD
- Càmera rèflex Nikon® D300
- PC

² DÍAZ de MIRANDA, Ma. D. "Mètodes de reproducció de la imatge de la filigrana". *Unicum*. (2014), núm. 13, p. 69-82.

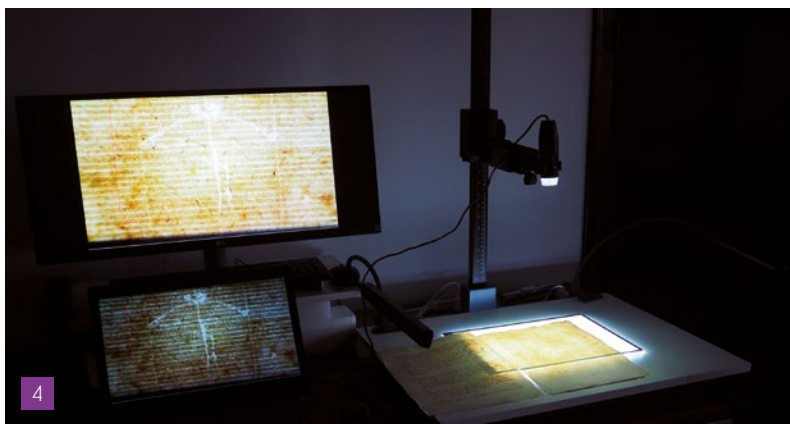
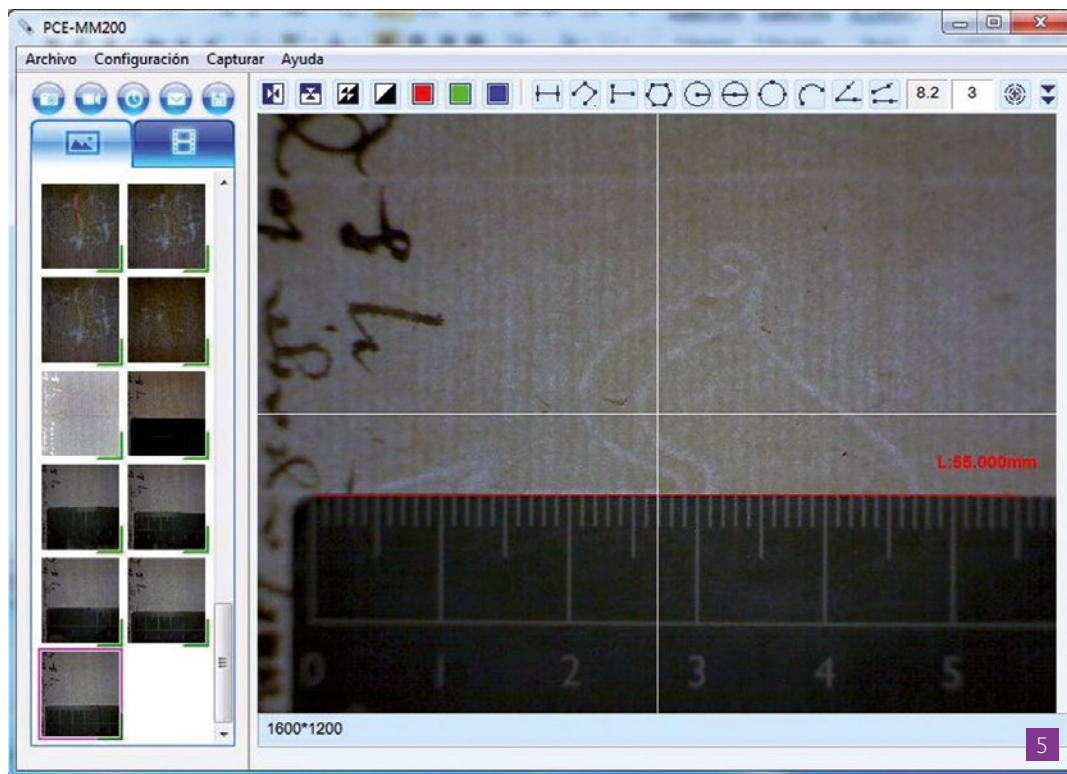
³ STAALDUINEN, M. Van. *Content-based Paper Retrieval Towards Reconstruction of Art History*. Delft: Delft University of Technology, 2010.

⁴ *Ibid.*, p. 17-38.

⁵ DÍAZ de MIRANDA, Ma. D.; HERRERO, A. Ma. *El papel en los archivos*. Gijón: Trea, 2009.

⁶ *Cfr.* 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 inèdita. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Belles Arts, 2012, capítol III, p. 51-75.

[4] i [5] Muntatge del microscopi digital per a la presa de mesures i reproducció d'una filigrana i visualització del procés amb el programa del microscopi digital (Fotografies: A. Olivé).



A partir d'aquestes primeres conclusions, es determina, doncs, que el sistema de mesura amb el microscopi digital, prèviament calibrat, suposa el sistema més exacte i òptim per emprar dins del protocol d'anàlisi d'una filigrana. Les conclusions específiques que s'obtingueren sobre el sistema del programa del microscopi digital i els avantatges o desavantatges respecte als altres sistemes, tant informàtics com manuals foren les següents:

- El sistema de mesura amb el microscopi digital permet prendre mesures de la filigrana amb la mínima manipulació del document, alhora que permet realitzar una fotografia de la filigrana que ofereix informació prou ajustada a la realitat i prou representativa per a la identificació de la filigrana.
- L'opció "línia creuada" del programa del microscopi permet una major precisió a l'hora de prendre les mesures que no ofereix el sistema de mesura manual.
- El rang d'enfocament del microscopi digital és força limitat, amb relació a tota la superfície de la imatge de la filigrana captada pel microscopi, d'aquí que si s'empra a una distància superior als 20 cm respecte al paper, els laterals de la imatge queden desenfocats.
- Hi ha un petit marge d'error que varia en funció dels següents paràmetres:
 - Distància d'enfocament manual entre l'objectiu del microscopi i el paper.
 - Marge d'error de 0,001 mm en el calibratge del microscopi a causa, principalment, de tres factors: augment emprat, resolució de la pantalla del PC de treball i calibratge adequat.
 - Utilització simultània d'instruments de diferent precisió: el microscopi arriba al picòmetre (micròmetre i nanòmetre) mentre que el regle arriba al mil·límetre.

⁷ $1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-12} \text{ m}$.

⁸ Línia contínua traçada d'una longitud determinada ja coneguda, a partir de la qual es calibra el sistema de mesurament del programa del microscopi.

Les primeres conclusions que s'obtingueren dels assajos realitzats foren les següents:

- En tots els casos, el marge d'error en els mesuraments de qualsevol dels sistemes informàtics emprats és similar i alhora menyspreable, ja que està per sota del picòmetre (pm).⁷
- En tots els sistemes, quant major és la longitud de referència,⁸ menor marge d'error en el calibratge i escalat.
- La qualitat de la imatge presa pel microscopi i per la càmera fotogràfica és la mateixa.
- Tots els sistemes comporten una manipulació similar del document.
- S'observen avantatges considerables del microscopi digital respecte als altres sistemes informàtics. Aquest és més ràpid i directe que els altres sistemes, ja que permet mesurar in situ; per altra banda, en comparació amb la càmera fotogràfica, el seu cost és més assequible, és més fàcil de transportar i més lleuger. Un cop el microscopi està calibrat, no cal referència real. [4] i [5]

OPCIONS QUE PERMET EL MICROSCOPI DIGITAL

Distància d'enfocament:

20 cm entre l'objectiu i el paper

Calibratge:

Manual

Grau de precisió en el mesurament:

Fins al picòmetre

(permet mesurar la distància entre puntillons)

Escala:

Mesura a escala real de la filigrana

Reproducció:

Captura d'una imatge de la filigrana

UTILITZACIÓ DE LES DADES DE LES FILIGRANES PER AL CONTROL I SEGUIMENT DELS PROCESSOS AQUOSOS EN LA RESTAURACIÓ DEL DOCUMENT GRÀFIC

Per analitzar si l'aplicació de processos d'humectació, directa o indirecta del paper, produeix alteracions dimensionals en aquest, es realitzà un assaig emprant paper amb filigranes idèntiques i similars,⁹ amb els següents objectius:

- Determinar si hi ha o no variacions dimensionals en un paper un cop intervingut a partir del sistema de mesures amb microscopi digital.
- Determinar el grau d'incidència del sistema d'humectació emprat durant la intervenció en les possibles variacions dimensionals del paper a partir dels resultats de les mesures.
- Determinar el grau d'incidència del tipus d'aplanat emprat després de la intervenció en les possibles variacions dimensionals del paper a partir dels resultats de les mesures.
- Comprovar el marge d'error de les mesures preses amb el microscopi a partir de la comparativa amb les mesures preses manualment.
- Aplicació del protocol per a l'estudi del paper i l'obtenció de la filigrana establert per Ma. Dolores Díaz de Miranda¹⁰ en un conjunt de papers prèviament seleccionats.

Les mostres emprades per realitzar l'assaig consisteixen en 18 fulls del *Llibre del degà* (1208-1608). Capsa 308, número 1391, pertanyent a l'Arxiu Capitular de la Catedral Basílica Metropolitana de Tarragona.

Aquest llibre fou seleccionat, perquè s'havia de desmuntar i aplicar diferents tractaments aquosos sobre el paper a causa, per una banda, del mal estat de les cobertes de

l'enquadernació i les ruptures del cosit i, per altra banda, del grau d'acidesa i corrosió de les tintes metal·loàcides sobre el paper del cos del llibre, el qual requeria l'aplicació de diferents tractaments aquosos.

METODOLOGIA

Un cop desmuntat el llibre, i havent fet prèviament l'esquema de construcció i organització dels quadernets, es determinà el protocol d'estudi del paper i de les filigranes basat en els resultats obtinguts als apartats anteriors. Es van escollir 18 papers que es sotmeteren a diferents processos aquosos:

MATERIAL, EINES I MAQUINÀRIA EMPRATS DURANT EL PROCÉS DE RESTAURACIÓ

- Draps de teixit no teixit Sontara® (0,35 mm de gruix)
- Cambra d'humitat
- Cubetes blanques de plàstic
- Premsa manual i hidràulica
- Fulls de Reemay® gruixuts i prims
- Pesos de marbre i fustes
- Aigua destil·lada
- Gelatina al 3% en aigua destil·lada
- Papers assecants
- Humidificador

MATERIAL I EINES EMPRATS PER A LA REPRODUCCIÓ I OBTENCIÓ DE DADES DE LA IMATGE

- Paper de calc vegetal Canson, de 90 gr (20 x 15 cm)
- Regle mil·limetrat flexible transparent
- Paper barrera, de 40 gr (20 x 15 cm)
- Microscopi digital Dino-Lite® PCE-MM 200
- Planxa de metacrilat transparent
- Caixa de llum de làmpada fluorescent de càtode fred de 5.000° ffl 270° K (Medalight)
- Taula de reproducció amb una columna fixa
- Programa específic del microscopi digital
- PC

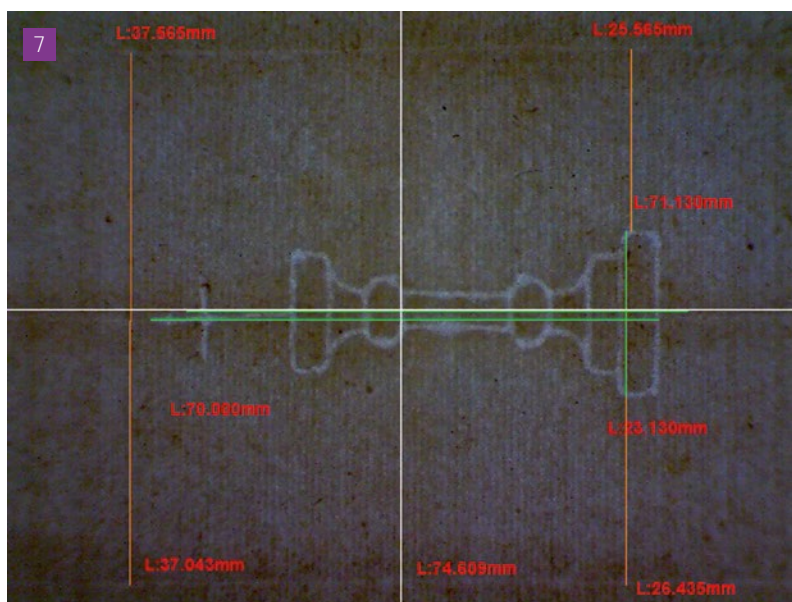
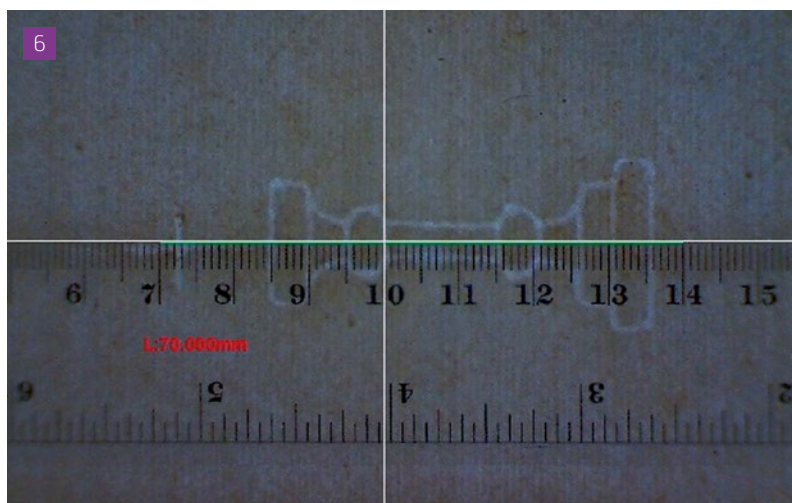
1. Selecció dels papers, protocol d'estudi i paràmetres de mesurament de la filigrana

A partir de l'estudi de les filigranes es va poder determinar que aquest llibre estava format per papers sortits de tres formes papereres, ja que es van detectar dues filigranes bessones,¹¹ i una altra filigrana molt similar a aquestes

⁹ Filigranes idèntiques: filigranes provinents de la mateixa forma i, per tant, amb el mateix dibuix. Filigranes similars: provinents d'un mateix molí paperer que presenten la mateixa filigrana, però amb diferències notòries que permeten descartar que hagin sortit de la mateixa forma.

¹⁰ DE MIRANDA, Ma. D. *Análisis y desarrollo de una base de datos...*, capítol III, p. 58-57 i capítol V, p. 130 i ss

¹¹ Filigranes bessones: conjunt de dues filigranes molt similars, on cada una és fixada a un costat de les dues formes que l'operari de la tina manipula alternativament; a partir del segle X, una estarà a la meitat dreta de la forma i l'altra a l'esquerra.



dues, però amb algunes variacions dimensionals i morfològiques. La utilització de filigranes idèntiques i bessones permet assegurar que es treballa amb papers sortits de la mateixa forma paperera i, per tant, amb característiques idèntiques.

Seguint el protocol desenvolupat en els assajos de l'apartat anterior, es van documentar totes les filigranes dels 18 papers. De cada filigrana se n'ha fet una fitxa diferent. Els paràmetres emprats del microscopi han estat els mateixos durant tot el procés: 6 i 7

PARÀMETRES DEL MICROSCOPI

Distància entre paper i microscopi:

270 mm

Augments:

5x

Escala d'ampliació:

4,6

Longitud de referència:

70 mm

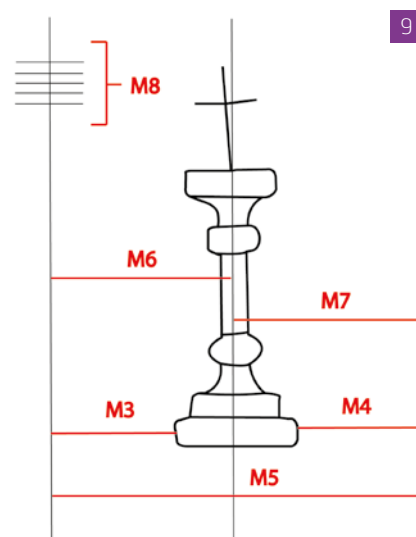
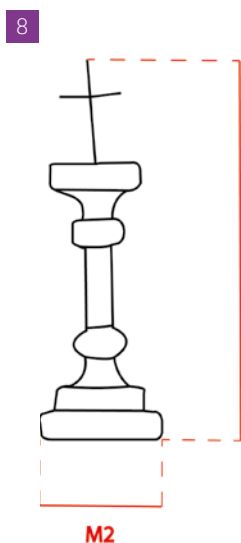
Les mesures preses a cada filigrana sempre han estat dels mateixos paràmetres indicats a les imatges 8 i 9.

2. Classificació dels papers en diferents grups segons el procés d'humectació emprat

Per a la intervenció s'han emprat tres sistemes d'humectació diferents: en cambra d'humitat, per immersió i per capilaritat; per a cada sistema s'hi han aplicat dos sistemes d'aplanat: a partir de premsa i amb pesos.

[6] i [7] Calibratge del microscopi digital a partir d'una longitud de referència i mesura de la filigrana. (Captura: A. Olivé).

[8] i [9] Esquema de referència de mesures per a les filigranes (Edició: A. Olivé).



SISTEMES D'HUMECTACIÓ	TIPUS D'HUMECTACIÓ	TEMPE-RATURA	TEMPORA-LITZACIÓ	MATERIAL	ASSECAT	APLANAT
Per immersió	Directa (aigua) per immersió	Ambient	10-15 min	2 fulls de Reemay® fins; cubeta blanca; 2 reixetes de plàstic; aigua	Per oreig, a l'assecador	Premsa vertical manual
						Sota pesos
En cambra d'humitat	Directa (aplicació controlada d'humitat)		10-15 min	Cambra d'humitat; hules; full de Reemay®		Premsa hidràulica
						Sota pesos
Per capil·laritat	Indirecta (per capil·laritat)		45 min	Draps de teixit no teixit Sontara®; 2 taulers de fusta; cubeta; full de Reemay®		Premsa hidràulica
						Sota pesos

Es van fer sis grups de tres papers cada un, combinant els diferents sistemes d'humectació i d'aplanat. **10 - 15**

GRUPS	TIPUS D'HUMECTACIÓ	SISTEMES D'APLANAT
1	Immersió	Premsa vertical manual
2		Pesos
3	En cambra d'humitat	Premsa hidràulica
4		Pesos
5	Per capil·laritat	Premsa hidràulica
6		Pesos



[10] Sistema d'humectació per immersió.

[11] Sistema d'humectació per cambra d'humitat.

[12] Sistema d'humectació per capil·laritat, amb draps de teixit no teixit Sontara®.

[13] Sistemes d'aplanat: premsa manual.

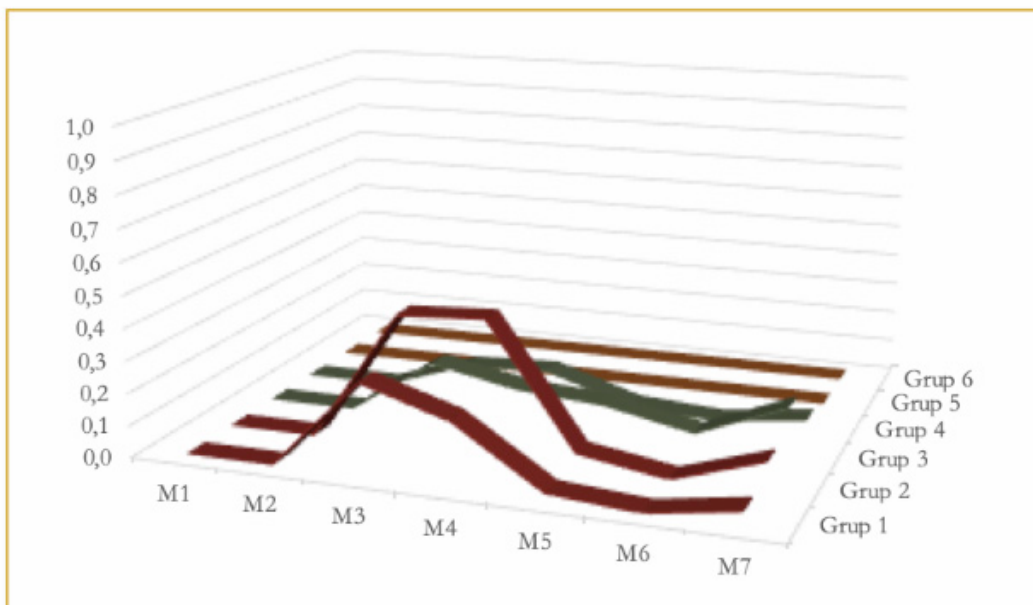
[14] Sistemes d'aplanat: premsa hidràulica.

[15] Sistemes d'aplanat: pesos de marbre (Fotografies: Ma. D. Díaz de Miranda i A. Olivé).

3. Resultats obtinguts després de l'aplicació dels sistemes d'humectació

El resultat de la variació dimensional detectada en les filigranes dels papirs abans i després de ser sotmesos a determinats processos aquosos són els següents:

Percentatge de variació dimensional (%)



	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
M1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M3	0,3	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0
M4	0,2	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
M5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
M6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M7	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0

Llegenda dels sistemes d'humectació	
Grup 1 i 2	Per immersió
Grup 3 i 4	En cambra d'humitat
Grup 5 i 6	Per capil·laritat

A partir dels resultats obtinguts s'han extret les següents conclusions:

- Les variacions han estat insignificants, ja que són inferiors al 0,4% en els paràmetres estudiats de la filigrana.

- Aquestes variacions dimensionals estan condicionades al sistema d'humectació emprat, independentment del sistema d'aplanat emprat.

- Els elements significatius del canvi dimensional són: el grau d'humitat aplicat, el nivell d'HR de l'ambient i el sistema d'aplicació aquesta humitat.

- Sistema d'humectació per immersió:

suposa el sistema més agressiu i directe, ja que l'absorció d'humitat del paper és molt més ràpida i major en molt poc temps (10 min). Com a conseqüència, les variacions dimensionals han estat majors que amb els altres dos sistemes. Variacions dimensionals del 0,4%.

- Sistema d'humectació amb cambra d'humitat:

la humitat aplicada és més controlada i homogènia que el sistema per immersió,¹² però el temps d'humectació és major, ja que és de 24 h. Variacions dimensionals del 0,2%.

- Sistema d'humectació per capil·laritat:

la humitat penetra per una de les cares del document, per capil·laritat. Sistema més lent i menys regular pel que fa a la humectació. El paper està menys temps humectant-se (45 minuts). No hi ha variacions dimensionals.

CONCLUSIONS

A. Revisió dels sistemes de reproducció i mesura de la filigrana i la seva verjura

A partir dels primers assajos realitzats es determina que el programa AutoCAD® i LibreCAD ofereixen unes prestacions molt similars pel que fa a la precisió en les mesures d'una imatge, tot i que el procediment per fer l'escalat de la imatge és diferent. La principal diferència entre l'AutoCAD® i el LibreCAD és que el primer es tracta d'un programa de pagament mentre que el LibreCAD és un programari lliure, que es pot instal·lar a qualsevol ordinador de manera gratuïta.

Pel que fa al microscopi digital, aquest ofereix una mesura de la filigrana molt més directa i ràpida, ja que permet treballar in situ; des de la mateixa visualització a través del microscopi es pot calibrar i mesurar, sense haver de prendre una fotografia i treballar-hi a posteriori. A la vegada, permet guardar el calibratge i mesurar de manera seriada un seguit de papers, sense modificar-ne els paràmetres i sense haver de mantenir la referència real (regle) durant tot el procés de mesurament.

La validesa és similar en tots els programes, tant els de processament d'imatge com el del microscopi digital, amb un marge d'error entre 0,0002 i 0,007 mm i, per tant, molt poc significatiu i, en tot cas, molt inferior al marge d'error

ofert pel sistema de mesura manual. Tant en el calibratge del microscopi digital com en l'escalat dels programes de processament d'imatge cal una referència real, en aquest cas un regle. Un cop fet el calibratge, en el cas del microscopi, a diferència dels altres sistemes, no cal emprar la referència real, ja que aquest queda guardat i, en tot cas, només s'emprarà per comprovar que el calibratge del microscopi sigui correcte. En el cas dels programes de processament d'imatge es mantindrà la referència real sempre per comprovar que l'escalat és correcte. El sistema de mesura a partir de programes informàtics, a part d'una major precisió respecte a la mesura manual, ofereix la mínima manipulació del document. Aquesta major precisió s'explica, principalment, pel fet que els programes informàtics poden arribar a mesurar amb unitats que arriben al picòmetre, mentre que el sistema manual només arriba al mig mil·límetre, ja que és el que pot veure l'ull humà i, a la vegada, és la unitat més petita de referència del regle. Un dels factors controlables que repercuteixen en la precisió en la mesura de la imatge és la longitud de referència emprada, que ha de ser la major possible: com més gran és la longitud de referència menor és l'error de mesura.

S'han detectat certes problemàtiques pel que fa a la mesura de filigranes de llibres manuscrits enquadernats, ja que la seva manipulació és força difícil a la vegada que la precisió a l'hora de fer la mesura és menor que la d'un document solt. Per altra banda, el rang d'enfocament del microscopi digital té certa limitació en relació a tota la superfície captada pel microscopi, d'aquí que, si s'empra a una distància superior al centímetre respecte al paper, els laterals de la imatge quedin desenfocats.

B. Aplicació dels sistemes informatitzats de presa de dades en el camp de la restauració

A partir dels primers assajos s'ha pogut comprovar que el sistema de mesura amb microscopi digital és més ràpid i directe que els altres sistemes, ja que permet mesurar in situ els papers, alhora que el marge d'error és molt similar. Cal afegir que el microscopi digital té un cost molt més assequible que el d'una càmera fotogràfica¹³ i és més fàcil de transportar, ja que les dimensions són molt més petites (110 x 33 mm) i és més lleuger (90 gr). Per tal d'obtenir una mesura amb el mínim marge d'error, s'ha d'indicar que cal tenir en compte les següents premisses:

- Emprar sempre el mateix augment durant tot el procés de mesura.
- Emprar la mateixa distància entre el microscopi i el paper durant tot el procés de mesura.
- Fer una comprovació amb una referència real (regle).
- Emprar sempre el mateix calibratge durant tot el procés de mesura.
- Emprar la mateixa longitud de referència per fer el calibratge.

¹² El sistema utilitzat per submergir un document en aigua implica que el document, entre fulls de Reemay®, es va introduint paulatinament al bany des d'una de les seves cantonades, mantenint un angle d'uns 45° amb la superfície de l'aigua. En canvi, a la cambra d'humectació és el propi paper el que va absorbint des de tota la seva superfície la humitat de l'interior de la cambra.

¹³ Per a aquest estudi en concret, es poden trobar microscopis vàlids a partir dels 90 €.

- Tenir el paper ben aplanat amb un metacrilat i, si cal, amb pesos sobre el metacrilat.
- No moure el paper durant el procés de mesura.
- Treballar amb l'opció "línia creuada" del programa del microscopi, per tal de col·locar el més recte possible el paper, prenent com a referència l'orientació dels puntillons.
- En les segones mesures d'un mateix paper, comparar els punts de partida de les primeres mesures.
- Fer captures de pantalla de cada mesura d'una imatge.
- Emprar una longitud de referència el màxim de gran possible: com major és la longitud de referència, menor és l'error de mesura.

Cal tenir en compte que, malgrat l'eficàcia del sistema de mesura amb microscopi digital, hi ha un seguit de paràmetres que influeixen en el comportament del paper durant el procés d'intervenció dels documents que, normalment, no són mesurats ni controlats; com són el percentatge d'humitat aplicada als papers durant els processos d'humectació, la humitat relativa ambiental i la temperatura ambiental prèvia al procés, durant i posterior a aquest i el grau de desfibrat de les fibres dels papers que, si bé és cert, serà similar en els papers sortits del mateix molí paperer. Cal afegir també que el calibratge del microscopi es fa a partir de l'observació amb l'ull humà i, per tant, pot haver-hi una certa inexactitud, tant en els augments com en la mesura amb regla en el moment de calibrar.

NOVES VIES D'INVESTIGACIÓ

A partir de les conclusions obtingudes, es posa de manifest que el nivell d'humitat relativa és un condicionant important a tenir en compte de cara a les possibles variacions dimensionals d'un document durant un procés d'humectació. La cambra d'humitat permet regular el nivell d'HR de l'ambient dins la cambra, per això resultaria interessant poder realitzar més proves amb aquest sistema d'humectació emprant diferents graus d'humitat i temps d'humectació.

Caldria fer aquest estudi en grups de paper segons la seva datació, a fi de comprovar si hi ha variacions de comportaments en els papers segons l'època a la qual pertanyen.

Quedaria pendent fer l'anàlisi de fibres dels papers per saber si la composició de la fibra que conforma el paper pot repercutir realment en les variacions dimensionals d'aquest un cop intervingut. D'aquesta manera es podria mesurar un dels paràmetres no controlables en el present treball.

Caldria investigar més profundament els sistemes de reproducció de la imatge de la filigrana com ara el

Back Light, el qual es basa en l'obtenció d'imatges per contrallum. El paper que conté la filigrana és il·luminat amb una font de llum uniforme i aquesta és captada per una càmera digital. També es diu fotografia de llum transmesa, perquè els fotons són transmesos des de la font de llum cap al paper i, per transparència, es pot fer visible exclusivament l'estructura del paper. Aquest sistema pot resultar molt útil per a documents que tinguin molt de text, i que impedeixin visualitzar correctament la filigrana. La sostracció d'imatges es fa a partir d'una imatge, captada amb la càmera, del paper amb la llum transmesa i una imatge, captada amb la mateixa càmera, del paper sense la llum transmesa i una font de llum uniforme orientada cap al document, encesa. Com a resultat s'obté una imatge amb només les estructures del paper, és a dir, amb la verjura i la filigrana, i sense que es vegin els elements sustentats. És important no moure el paper que s'està fotografiant entre una captura i una altra, per tal que la sostracció de píxels de les imatges sigui la correcta. Resultaria interessant comprovar si la sostracció d'imatges és possible amb un programa com l'Adobe® Photoshop, ja que sent així, resultaria un sistema senzill i econòmic, força assequible a qualsevol usuari.

BIBLIOGRAFIA

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 línia]: <http://www.memoryofpaper.eu/BernsteinPortal/appl_start.disp#> [Consulta: 7 gener 2017].

CABRERA ALFONSO, A.; AMADOR AMADOR, R. "Filigranas papeleras. Aproximación a su estudio a través de los archivos familiares". *Revista de Historia Canaria* (2005), núm. 187, p. 39-54. Disponible en línia a: <[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 setembre 2016].

DÍAZ de MIRANDA, M. D.; HERRERO, A. Ma. "Propuesta de estudio y reproducción de filigranas". A: *Actas del V Congreso Nacional de Historia del Papel en España*. Sarriá de Ter: Curbet Comunicació Gràfica, 2003, p. 135-147. Disponible en línia a: <http://diazdemiranda.com/wp-content/archivos/Protocolo_Filigramas_DM_r-1.pdf> [Consulta: 1 desembre 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), núm. 8, p. 2-6. Disponible en línia a: <<http://www.cahip.org/boletines/Boletin8.pdf>>. [Consulta: 1 desembre 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 inèdita. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Belles Arts, 2012.

DÍAZ de MIRANDA, Ma. D., "Mètodes de reproducció de la imatge de la filigrana". *Unicum*. (2014), núm. 13, p. 69-82.

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), núm. 5, p. 11. Disponible en línia a: <http://diazdemiranda.com/wp-content/archivos/DM_filigranas_uso-1.pdf>. [Consulta: 1 desembre 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". A: *XII Congreso Internacional de Historia del Papel en la Península Ibérica, Santa Maria da Feira, 28-30 de junio 2017*, Tom 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". A: *Actas del I Congreso Nacional de Historia del Papel en España y sus Filigranas*. Barcelona: AHHP (Asociación Hispánica de Historiadores del Papel), 1995, p. 348-353.

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*. Treball Final de Grau inèdit. Barcelona: ESCRBC, 2017.

PAGÈS RABAL, X. *Els molins paperers de Catalunya. Una aproximació per a la seva protecció patrimonial*. Director: Carlos Marmolejo Duarte. Projecte Final de Màster Oficial inèdit. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2012. Disponible en línia a: <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.