



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Máster Universitario en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE ALISADO
EN TENSION SOBRE EL PAPEL

Presentado por: Ainoa Moret de la Asunción

Dirigido por: Salvador Muñoz Viñas

RESUMEN

El alisado del papel es un tratamiento común en el ámbito de la conservación. Estos tratamientos en la gran mayoría de casos, se basan en la humectación de las láminas y en el secado bajo algún tipo de restricción. Estas técnicas a menudo tienen efectos no deseados, que normalmente pasan desapercibidos o no se comprenden en su totalidad. La variación dimensional de la hoja de papel alisada es uno de estos efectos. Este trabajo analiza los principios detrás de la técnica del alisado, concretamente los métodos que emplean tensión. Por otro lado, también se ha estudiado el impacto de estos procesos en las dimensiones de las hojas de papel hechas a máquina y en artefactos de la vida real.

Por último, con el fin de analizar profundamente el comportamiento del papel, se ha realizado una comparativa entre los resultados obtenidos en los ensayos realizados mediante la técnica de alisado en tensión, con resultados obtenidos utilizando la técnica de alisado en presión.

PALABRAS CLAVE

Alisado, secado, tensión, papel, sistemas de alisado, restauración.

RESUM

L'allisat del paper és un tractament comú en l'àmbit de la conservació. Estos tractaments en la gran majoria de casos, es basen en la humectació de les làmines i en l'assecat davall algun tipus de restricció. Estes tècniques sovint tenen efectes no desitjats, que normalment passen desapercibuts o no es comprenen en la seua totalitat. La variació dimensional d'un full de paper allisada és un d'estos efectes. Este treball analitza els principis darrere de la tècnica de l'allisat, concretament els mètodes que empren tensió. D'altra banda, també s'ha estudiat l'impacte d'estos processos en les dimensions dels fulls de paper fetes a màquina i en artefactes de la vida real.

Finalment, a fi d'analitzar profundament el comportament del paper, s'ha realitzat una comparativa entre els resultats obtinguts en els assajos realitzats per mitjà de la tècnica d'allisat en tensió, amb resultats obtinguts utilitzant la tècnica d'allisat en pressió.

PARAULES CLAU

Allisat, assecat, tensió, paper, sistemes d'allisat, restauració.

ABSTRACT

Paper flattening is a common treatment in the field of conservation. These treatments in the vast majority of cases are based on the wetting of the sheets and the drying under some kind of restraint. These techniques often have unwanted effects, which usually go unnoticed or are not fully understood. Dimensional variation of the sheet of flattened paper is one of these effects. This work analyses the principles behind the flattening technique, specifically the methods that use tension. On the other hand, the impact of these processes on the dimensions of machined sheets of paper and real-life artifacts has also been studied.

Finally, in order to more completely analyse the behaviour of the paper, a comparison has been made between the results obtained in the tests carried out using the tension stress flattening technique with results obtained using the pressure flattening technique.

KEY WORDS

Flattening, drying, tension, paper, flattening systems, restoration.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría, primero de todo, darle las gracias a mi tutor, ya que el camino no ha sido fácil pero la experiencia que he ganado es incalculable. Gracias por todo este tiempo trabajando juntos.

Agradecer también a mis amigos que han estado ahí en todo momento. Gracias por vuestra amistad y por haber sido un océano de tranquilidad cuando era todo un caos. También me gustaría darle las gracias a mi familia por haber estado todo este tiempo aguantándome ni cuándo ni yo misma me aguantaba. Gracias por estar siempre cuidando y velando por mí.

Por último, me gustaría hacer una mención especial. Gracias por hacerme feliz, por apoyarme y animarme en todo. Te quiero mucho más que querer, Jak.

INDICE

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 7 |
| 2. | OBJETIVOS Y METODOLOGÍA | 8 |
| | 2.1. OBJETIVOS | 8 |
| | 2.2. METODOLOGÍA | 8 |
| 3. | EL PAPEL | 9 |
| | 3.1. NOCIONES BÁSICAS | 9 |
| | 3.1.1. Definición | 9 |
| | 3.1.2. Breve análisis histórico | 9 |
| | 3.2. FÍSICA Y QUÍMICA DEL PAPEL | 15 |
| | 3.2.1. Composición del papel | 15 |
| | 3.2.2. Composición de la celulosa | 15 |
| | 3.2.3. Otros compuestos presentes en el papel | 16 |
| | 3.2.4. El puente de hidrogeno | 17 |
| 4. | TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN DE PAPEL | 19 |
| | 4.1. ANÁLISIS DEL PROCESO DE ALISADO | 19 |
| | 4.1.1. Humectación del papel | 20 |
| | 4.1.2. Fijación del papel | 21 |
| | 4.1.3. Secado del papel | 21 |
| | 4.2. ALISADO EN TENSIÓN | 22 |
| 5. | ESTADO DE LA CUESTIÓN | 25 |
| | 5.1. PROBLEMÁTICA DERIVADA DE LA TÉCNICA | 25 |
| | 5.2. PROBLEMATICA DERIVADA DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL | 25 |
| 6. | ESTUDIO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL | 28 |
| | 6.1. ESTUDIO EXPERIMENTAL | 28 |
| | 6.1.1. Adhesivos | 28 |
| | 6.1.2. Papeles | 29 |
| | 6.1.3. Superficie | 30 |
| | 6.1.4. Sistemas de adhesión | 30 |
| | 6.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL | 30 |
| | 6.2.1. Alisado en tensión en láminas industriales | 33 |
| | 6.3. PRUEBAS COMPLEMENTARIAS | 36 |
| | 6.3.1. Alisado en tensión de láminas industriales | 36 |
| | 6.3.1.1. <i>Canson Guarro 'Basik'</i> | 36 |
| | 6.3.1.2. <i>Papel de periódico</i> | 37 |
| | 6.3.2. Láminas envejecidas naturalmente | 38 |
| 7. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| 8. | REVISIÓN AUTOCRÍTICA | 44 |
| | 8.1. LIMITACIONES DEL MÉTODO EXPERIMENTAL | 44 |
| | 8.2. OTRAS POSIBILIDADES | 44 |
| 9. | CONCLUSIONES | 46 |
| 10. | BIBLIOGRAFÍA | 48 |
| 11. | INDICE DE IMÁGENES | 52 |
| 12. | ANEXOS | 58 |

1. INTRODUCCIÓN

Un scientifique dans son laboratoire n'est pas seulement un technicien: c'est aussi un enfant placé devant des phénomènes naturels qui l'impressionnent comme un conte de fées¹.

Marie Curie (1867-1934)

El término conservación, en el ámbito de los archivos y bibliotecas, hace referencia a las medidas y tratamientos destinados para proteger los documentos, con el fin de prolongar su vida y su uso, en la medida de lo posible, en condiciones óptimas el mayor tiempo posible. La conservación y restauración de obra gráfica es un campo muy amplio donde abunda la diversidad de obras que van desde láminas a libros, manuscritos, grabados, dibujos, etc. De igual forma, esta disciplina ofrece una variedad casi infinita de tratamientos, ya que no existe una única manera para solucionar un problema. La resolución del mismo dependerá de la pericia y experiencia del restaurador.

Uno de los procedimientos más utilizados en el campo de la restauración del papel es el alisado. La reducción de las distorsiones planimétricas, que engloba todo tipo de arrugas o pliegues, se halla entre los factores más importantes para determinar si la conservación de dicha hoja de papel ha sido satisfactoria. Las razones por la que se realiza este tratamiento, que no es indispensable para la supervivencia del documento, son variadas. Lo más probable es que esto esté relacionado con la experiencia subjetiva de la población contemporánea, en el que una hoja de papel arrugado significa que no tiene valor, mientras que una hoja plana es equivalente a una hoja nueva y valiosa².

En primera instancia, este tratamiento quizás parece sencillo, pero solucionar las distorsiones planas que se encuentran en el papel es una ardua tarea en muchos casos. La influencia de la tensión sobre las dimensiones de la hoja alisada será uno de las principales cuestiones a investigar. Tomando como referencia diversos trabajos que tratan sobre el impacto de los sistemas de alisado que utilizan presión y tensión, se comparan ambos métodos con el fin de analizar en profundidad cómo repercute el alisado en su correspondiente variación dimensional.

¹ CURIE, E. *Madame Curie. A biography*. Editorial Gallimard, 1938, p 25.

² MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. *Restaurator* 30, 2009, pp 181 – 198.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

OBJETIVOS

Los objetivos que han motivado la realización de este trabajo de fin de máster, partiendo de los generales a los más específicos, son los siguientes.

Los **objetivos generales** planteados en el trabajo:

- Analizar el proceso de alisado en tensión.
- Establecer y realizar un diseño experimental que englobe diferentes papeles de muestra y diferentes sistemas de alisado en tensión.

Como **objetivos específicos** a desarrollar durante la investigación se plantea:

- Analizar la problemática de la higoexpansividad.
- Exponer y valorar los resultados obtenidos en el desarrollo experimental.
- Realizar una comparación entre los resultados de sistemas de alisado en tensión y en presión.
- Realizar una revisión autocrítica que muestre las limitaciones del método experimental y otras posibilidades.

METODOLOGÍA

La metodología de investigación de este trabajo se ha basado en la búsqueda bibliográfica acerca de la conservación y restauración de papel. Este trabajo también abarca una parte de investigación experimental, ya que se pretende obtener unos resultados que aporten algo de luz en referencia a los cambios dimensionales producidos en los papeles a los que se les ha realizado un tratamiento que implique un aporte de agua.

Tras realizar el desarrollo experimental, se ha realizado un análisis, interpretación y comparación de los resultados alcanzados por alisado en tensión con resultados obtenidos mediante la técnica de alisado en presión. Se ha finalizado el trabajo con una revisión autocrítica con el objetivo de tratar de analizar que se podría haber mejorado y, por último, se han elaborado unas conclusiones.

Método teórico-documental:

- Revisión bibliográfica acerca del tema de estudio.
- Búsqueda bibliográfica y clasificación de los diferentes papeles y sistemas de alisado empleados en el método experimental.
- Estudio bibliográfico sobre la estabilidad dimensional y el cambio dimensional del papel.
- Revisión autocrítica de las limitaciones del método experimental y otras posibilidades.

Método empírico-experimental:

- Planificación del proceso experimental.
- Elaboración de las probetas con diferentes combinaciones.
- Análisis de los resultados en las probetas.
- Interpretación de los resultados y comparación de las probetas.
- Comparación de los resultados obtenidos en las probetas alisadas en tensión con los resultados obtenidos en probetas alisadas en presión.

3. EL PAPEL

What the story tells is in fact nothing more than humanity's long, heavy and confusing dream³.

Arthur Schopenhauer (1788-1860)

NOCIONES BÁSICAS

Descripción

La historia del papel tiene como punto de inicio el nacimiento de la escritura, hecho que supuso para el ser humano, según Friedrich Engels, *el paso de la barbarie a la civilización*⁴. Para comprender su evolución, primero se debe entender el concepto de 'papel'. Se podría definir como un producto artificial, de estructura laminar que se obtiene a través del filtrado de fibras vegetales separadas o trituradas (llamadas también pulpa) y, además, otros compuestos tales como colas, cargas, pigmentos, etc. Estas fibras están formadas mayoritariamente de celulosa, aunque en su composición hay más elementos, como la hemicelulosa y la lignina.

Influyen en las características del mismo, el tipo de fabricación (industrial o artesanal), el refinado de la pulpa durante su fabricación, si ha sido encolado o no, el tipo de la fibra utilizada (de que material se ha extraído, porcentaje de celulosa presente, etc.), la higroscopicidad que posee, si lleva tratamientos opcionales (bruñido, blanqueado, etc.), gramaje, textura, etc⁵.

Análisis histórico

Existen muchos estudios sobre el inicio de la fabricación de papel, pero quizás uno de los más importantes sea el escrito por el fabricante de papel, explorador e historiador del siglo XX, Dard Hunter. Su trabajo *Papermaking. The history and technique of an ancient craft* reúne mucha información relativa a la historia del papel y su manufactura⁶.

Antes de la invención del papel, gran parte de Europa se encontraba dominada por el imperio romano, por lo que se escribía sobre diferentes materiales como el papiro, pergamino, tablas de arcilla o madera u otros soportes similares. Por el contrario, en China se utilizaba la tela de seda sobre fragmentos de bambú, siendo un soporte caro y con una complicada manipulación.

La invención del papel se atribuye a Ts'ai Lun, en el 105 d.C, quien probablemente trataba de encontrar algún sustituto de la seda y, realizando pruebas con diferentes materiales, (como algún tejido de origen vegetal),

³ SCHOPENHAUER, A. *El mundo como voluntad y representación*. Editorial Porrúa - México, 1987. [Consultado el 1 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.uv.es/~ivorra/Filosofia/Historia/Voluntad.html>

⁴ ENGEL, F. *El origen de la familia, la propiedad privada y el estado* [en línea]. 1884. [Consultado el 1 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.marxists.org/espanol/m-e/1880s/origen/cap9.htm>

⁵ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 23 – 27.

⁶ HUBBE, M; BOWDEN, C. *Handmade paper: a review of its history, craft and science*. North Carolina State University, 2009, pp 1741 – 1744.

HUNTER, D. *Papermaking: the history and technique of an ancient craft*. New York: Dover Publications. 1978, pp 50 – 125.

276



Ilustración 1. *Broussonetia papyrifera* en Francisco Manuel Blanco, *Flora de Filipinas*. Según el sistema sexual de Linneo, Manila: 1837.

Imagen extraída de:
<https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/190609>

terminó perfeccionando y popularizando la fabricación y la producción hasta llegar a láminas óptimas para la escritura. Debido a su valor tecnológico, se sabe que la fabricación del papel permaneció en secreto en China durante 500 años antes de llegar a Corea y luego a Japón, a comienzos del siglo VII.

Por aquel entonces, China se encontraba más desarrollada en casi todos los aspectos y sirvió como referente para Japón. Sin embargo, fue en Japón donde la técnica de fabricar papel alcanzó un refinamiento más notorio. La producción de papel aumentó ya que se inventó la *forma*⁷ de tamiz enrollable, que permitía la producción de varias hojas al día con una sola forma y permitió la elaboración de papel en talleres pequeños⁸.

Es importante mencionar la materia prima mediante la cual se obtenían las pastas para realizar el papel. En China se adquirían a partir de fibras vegetales que provenían de telas, como por ejemplo trapos de seda desmenuzados. Por el contrario, en Japón se empleaba fibras de origen puramente vegetal, es decir directamente de la planta (como el *kozo*⁹ (Ilustración 1) u otros arbustos autóctonos).

A lo largo de las rutas de la seda y el comercio, llegó a Samarcanda aproximadamente en el siglo VIII, donde se cree que algunos fabricantes de papel chinos fueron llevados a la batalla (batalla de Talas) y obligados a compartir su oficio con sus captores¹⁰. Desde este punto, el conocimiento de la artesanía se extendió por todas las regiones árabes. Fue entonces, cuando la fabricación de papel alcanzó Europa, a través de la presencia árabe en la península ibérica. La ciudad de Xàtiva, fue probablemente el sitio con la primera fábrica de papel europea, en la primera mitad del siglo XI. La fabricación de papel se extendió también a Italia, donde se establecieron fábricas de papel en Fabriano¹¹ en el siglo XIII. Francia (1338), Alemania (finales del siglo XIV) y los países del Este y del Norte continuaron estableciendo fábricas y mercados para el papel¹².

Igual que entre la producción de papel entre China y Japón había diferencias técnicas, el papel que se producía en Europa también mostraba diferencias fundamentales frente al oriental. Una de las principales y más importantes es que la materia prima que se utilizaba en Europa consistía en trapos (ropa vieja, trapos de deshecho, etc) y no en fibras de origen directamente vegetal. La fabricación de papel, que compitió en gran medida con el pergamino o la vitela¹³ como superficie para escribir, creció con el aumento de la

⁷ Inicialmente la forma con la que se elaboraban las hojas debió consistir en un tamiz de tela cosido por sus extremos a un bastidor de madera, por lo que solo se podía producir una única lámina. A medida que fue evolucionando la fabricación del papel la forma también cambió. Probablemente en Japón se inventó la manera de producir más de una hoja al día con la misma forma. La forma tenía un tamiz compuesto por una esterilla vegetal que se depositaba sobre un bastidor rectangular, pero que no estaban unidos entre sí. Encima de este bastidor se depositaba otro bastidor de igual tamaño. MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 45 – 46.

⁸ Ibid, pp 43 - 48.

⁹ En Japón se trabajaba tradicionalmente solo con tres fibras, Kozo, Gampi (*Diplomorpha sikokiana*) y Mitsumata (*Edgeworthia chrysantha*), que son largas y finas, pudiendo formar papeles muy delgados a la vez que resistentes. Esta planta en concreto se denomina *Broussonetia papyrifera* o morera de papel.

¹⁰ VVAA. *Museo-Molino Papelero de Capellades*, 4ª edición, Editorial: Museu-Moli Papere de Capellades, Capellades, 1983.

¹¹ Fabriano, nuestra historia [en línea]. [Consultado el 3 de febrero de 2020]. Disponible en: https://fabriano.com/es/324/nuestra_historia

¹² JÖNS, H; MEUSBURGER, P; HEFFERNAN, M. *Mobilities of Knowledge*. Springer International Publishing, 2017, pp. 51–66.

¹³ El papel de vitela es un papel fabricado con pulpa de trapos de alta calidad, con una superficie tratada en general imitando pergamino.

Papeterie. P.L. 172.

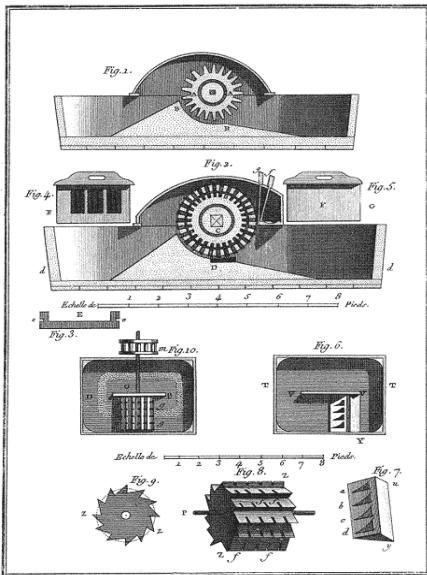


Ilustración 2. *Cylindres faits à la manière de Hollande; plan de la partie inférieure du moulin.* Mecanismo básico de la pila holandesa descrito por Joseph Jérôme en *Art de faire le papier*.

Imagen extraída de:
<https://www.moulinduverger.com/papier-main/lalande-78.php>



Ilustración 3. *Papeterie Darblay, Corbeil-Essonnes.* Fabrica industrial de papel, ubicada en Corbeil-Essonnes, en el que trabajó Nicholas-Louis Robert para François Didot.

Imagen extraída de:
<https://www.geneanet.org/cartes-postales/view/47631#0>

alfabetización y la invención del tipo móvil en el siglo XV. El volumen de material requerido para los libros y manuscritos que se estaban produciendo no se pudo obtener con los recursos limitados disponibles para el pergamino, hechos de pieles de ovejas y cabras, y el papel finalmente ganó la batalla por ser el principal soporte de escritura: esta nueva forma de fabricación de papel era efectiva y tenía un coste económico más bajo.

Occidente aportó un avance en la fabricación de papel: la forma metálica. Se trata de una forma formada por diferentes alambres metálicos (puntizones y corondeles) que se disponían de manera perpendicular, actuando de filtro de las fibras vegetales. Una vez finalizada la fabricación del papel, este producto era extremadamente poroso, por lo que se comenzaron a encolar las hojas para reducir su capacidad de absorción. Las principales colas que se utilizaron para este fin eran colas de gelatina o colas de almidón. Además, las hojas podían recibir tratamientos a posteriori tales como un bruñido, produciendo una superficie más fina y compacta.

Durante los siglos XV, XVI y XVII, la fabricación de papel se vio impulsada por otro invento decisivo que cambió completamente el panorama en aquella época: la imprenta de tipos móviles. A partir de esta fecha, los avances en la fabricación de papel consistieron en mejoras de desarrollo en las máquinas que producían el papel. El primero de ellos fue la pila holandesa (Ilustración 2). Este sistema se basaba principalmente en triturar las fibras en una pila que poseía unas cuchillas al fondo de la tina. Ese mecanismo permitió que los papeles producidos de este modo fuesen más compactos y homogéneos.

La invención de la pila holandesa supuso importante avance en la técnica de fabricación del papel. En el siglo XVIII se difundió por Europa y América, y posteriormente se le fueron añadiendo mejoras, como mejorar sistemas de refinado o formas metálicas más sofisticadas, etc. Sin embargo, hasta finales del XVIII no tuvieron lugar las innovaciones que revolucionarían más aún la industria del papel¹⁴.

Nicholas-Louis Robert patentó la primera máquina para producir “papel continuo” en el año 1789. Robert había trabajado como supervisor en el molino papero artesanal llamado *Papeterie Darblay* (Ilustración 3) propiedad de François Didot¹⁵, en Essones. Tal como dicen Richard Herring y George Croly en “*Paper & Paper Making Ancient and Modern* (1863)”:

*“The individual to whose genius we owe that beautiful contrivance, [...] was an unassuming clerk in the establishment of Monsieur Didot, named Louis Robert, who following his favorite pursuit of inventing and improving, not infrequently had to bear the reproach of wasting time on an invention that could never be brought to perfection.”*¹⁶

MCCLEARY, J.P. *Conservación de libros y documentos: glosario de términos técnicos*, Clan Editorial, 1997, p. 201.

¹⁴ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 55 - 58.

¹⁵ La familia Didot, fue una familia de impresores, editores franceses que tuvieron una profunda influencia en la historia de la tipografía en Francia. El fundador de la empresa familiar fue François Didot (1689-1757), quien comenzó su actividad como impresor y librero en París en 1713. Léger, su hijo mayor (1767-1829) fue el dueño del molino cuando se inventó la máquina de fabricación de papel continuo o “forma continua”. ENCICLOPEDIA BRITÁNICA [en línea] [Consultado el 4 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.britannica.com/topic/Didot-family#ref173705>

¹⁶ “El individuo a cuyo genio le debemos ese hermoso artificio, [...] era un empleado modesto en el establecimiento de Monsieur Didot, llamado Louis Robert, quien

Robert desarrolló un prototipo que sustituía las formas manuales por una cinta continua. El papel se iba escurriendo por la cinta— de manera que al final estaba suficientemente seco para ser directamente despegado. Así pues, la máquina producía rollos de papel o “papel continuo” (Ilustración 4).

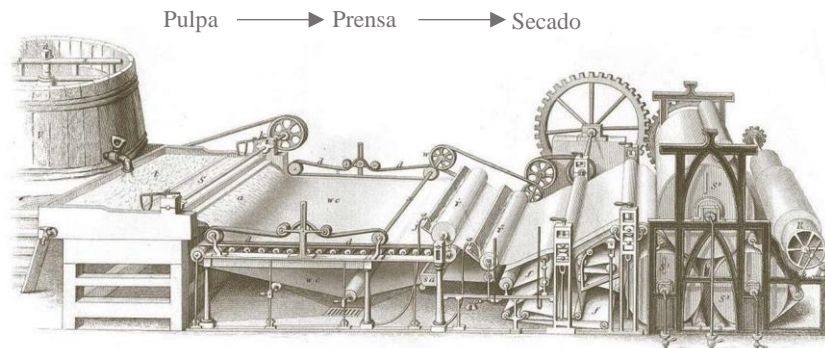


Ilustración 4. Esquema de una máquina de fabricación de papel continuo, extraída de: <http://www.dartfordarchive.org.uk/technology/magnified/Fourdrinier.htm>

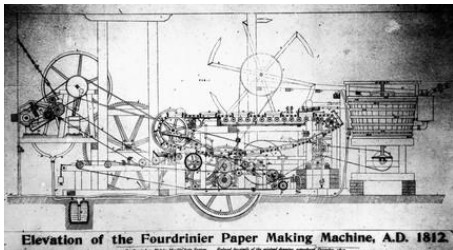


Ilustración 5. Alzado de una máquina de fabricación de papel Fourdrinier, 1812.

Imagen extraída de:
<https://www.timetoast.com/timelines/principales-manifestaciones-de-diseno-grafico-durante-la-revolucion-industrial-y-las-principales-vanguardias-graficos-del-siglo-xx-1420b17d-74d4-41d7-830e-7085fc487229>

El prototipo no estaba completamente desarrollado, y tras una serie de fracasos económicos los hermanos Henry y Sealy Fourdrinier adquirieron la patente de la máquina, por lo que la invención de Robert se convirtió en el núcleo de la máquina Fourdrinier (Ilustración 5), la base para la fabricación de papel moderna. El funcionamiento de la máquina se podría resumir del siguiente modo:

“The principle of paper making by machinery is simply this: instead of employing moulds or felts of limited dimensions, as was originally the practice, the peculiar merit of the invention consists in the adaptation of an endless wire gauze to receive the paper pulp, and again an endless felt, to which in progress the paper is transferred; and thus by a marvelously delicate adjustment, while the wire at one end receives but a constant flow of liquid pulp, in the course of two or three minutes the finished fabric is carefully wound on a roller at the other extremity [...], so on the other hand, we surely cannot remain unmindful of its effects and benefits upon ourselves, when, in contrasting the results of the paper-making machine with the productions of the former period, we find the cost reduced to the consumer considerably more than one-half, in some instances to actually a fourth.”¹⁷

siguiendo su búsqueda favorita de inventar y mejorar, no pocas veces tuvo que soportar el reproche de perder el tiempo un invento que nunca podría ser llevado a la perfección.” (Nuestra traducción)

HERRING, R; CROLY, G. *Paper & Paper Making Ancient and Modern*. Longman, 1863, pp 48 – 59.

¹⁷ “El principio de la fabricación de papel por maquinaria es simplemente esto: en lugar de emplear moldes o fieltros de dimensiones limitadas, como era originalmente la práctica, el mérito peculiar de la invención consiste en la adaptación de una gasa de alambre sin fin para recibir la pulpa de papel, y nuevamente un fieltro interminable, al que en progreso se transfiere el papel; y, por lo tanto, mediante un ajuste maravillosamente delicado, mientras que el alambre en un extremo recibe un flujo constante de pulpa líquida, en el transcurso de dos o tres minutos el tejido terminado se enrolla cuidadosamente en un rodillo en el otro extremo [...], etc. Por otro lado,

Los procesos para mejorar la máquina tuvieron consecuencias significativas en la historia del papel. Tal y como dicen Richard Herring y George Croly, el coste de producción se redujo y por lo tanto la producción de papel aumentó. Por otro lado, la disposición de las fibras en la formación del papel ya no era la misma ya que se producía un arrastre que orientaba las fibras en sentido paralelo al movimiento de la forma. Debido a esto, los papeles producidos de esta manera son más resistentes en un sentido que en el otro y reaccionan de manera distinta a la humedad. En la actualidad, las máquinas que producen papel siguen basándose en el invento de Nicholas-Louis Robert y mejorado por los hermanos Fourdrinier¹⁸.

A finales del siglo XVIII, la producción de papel era relativamente lenta y costosa ya que las hojas debían ser encoladas a mano con colas animales o vegetales. A principios del siglo XIX, Moritz Friedrich Illig¹⁹ descubrió cómo realizar un encolado de la pulpa directamente en la tina. Se llegó a la solución de incluir en la tina, en la que se encuentra la pulpa, una resina de coníferas. Esta resina de por sí no es soluble en agua, sin embargo, si se le añade sosa cáustica se produce un jabón de resina, que sí es soluble. Si a este jabón resinoso se le añade alumbre, la resina se precipita, se solidifica y tiende a adherirse a las fibras vegetales.

Todos estos avances tecnológicos representaron una expansión exponencial en la industria de la producción del papel. No obstante, este incremento en la fabricación se vio obstaculizado por la escasez materia prima principal, la celulosa. Este elemento se obtenía a partir de trapos y papeles utilizados y dada la demanda creciente, este procedimiento se convirtió en insuficiente para abastecer la producción. Era evidente que se necesitaba un proceso para utilizar un material más abundante. Por ello, ya desde el siglo XVIII, se trató de obtener nuevas fibras papeleras. Por ejemplo, el naturista francés René Antoine Ferchault de Réaumur entregó, en 1719, un informe a la Real Academia de Ciencias de París sobre la forma en que las avispas elaboran sus nidos con un papel obtenido con fibras vegetales e impermeable al agua. Sin embargo, hasta 1844 el problema de encontrar nuevas fibras vegetales para la fabricación de papel no se solucionó. En esta década, el ingeniero alemán Gottlob Köller, logró desarrollar pasta de madera a partir de procedimiento mecánicos. Este procedimiento consistía en desbastar la madera²⁰ produciendo un material apto para la producción de papel²¹.

Köller abordó uno de los problemas industriales más acuciantes de su tiempo. No obstante, este hecho hizo que la calidad del papel disminuyese. La composición del papel cambió, al igual que su resistencia mecánica y aumentó drásticamente su degradación. Este hecho se produce, ya que las fibras procedentes de la madera contienen impurezas o materiales no celulósicos,

seguramente no podemos ignorar sus efectos y beneficios sobre nosotros mismos, cuando, al contrastar los resultados de la máquina de fabricación de papel con las producciones del período anterior, encontramos que el coste para el consumidor se reduce bastante más de la mitad, en algunos casos hasta llegar a un acuerdo del precio". (Nuestra traducción)

HERRING, R; CROLY, G. *Paper & Paper Making Ancient and Modern*. Longman, 1863, pp 48 – 59.

¹⁸ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 58 – 59.

¹⁹ Moritz Friedrich Illig (1775-1818) fue relojero y heredero de la fábrica de papel familiar en Erbach.

ENCICLOPEDIA BRITÁNICA [en línea] [Consultado el 4 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/papermaking#ref625027>.

²⁰ Las pastas de madera producidas por este procedimiento también se conocen como *pastas mecánicas*.

²¹ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 63.

como la lignina, sustancia que se considera perjudicial para la conservación del papel. El sistema que inventó Köller no discriminaba estas sustancias, de ahí que los papeles resultantes fuesen de mala calidad, así que se inventaron diferentes métodos químicos para eliminarlos²². Estas pastas químicas se obtienen mediante el procesado de la madera con sustancias químicas, disociando los elementos de celulosa de la lignina e impurezas. Generalmente estos procedimientos se basaban en aplicar a la madera, calor, presión y un pH agresivo. Los reactivos empleados para alcanzar los pH deseados pueden ser ácidos (bisulfito de calcio, magnesio, amonio o sodio) o alcalinos (sulfato de sodio, sosa, o cal)²³. Estos factores provocan la disgregación de las fibras y la eliminación de las impurezas. Este procedimiento tiene como consecuencia la reducción en el grado de polimerización de la celulosa, disminuyendo la resistencia mecánica del papel y su estabilidad química²⁴. Por otro lado, los procesos mecánicos y los químicos pueden combinarse, resultando en pastas semiquímicas. Este proceso se realiza por la combinación de dos fases. La primera consiste en la impregnación con productos químicos de la madera para debilitar las fibras, y la segunda reside en triturar dicha madera, de esta manera se obtienen fibras más largas y por consiguiente un papel de mejor calidad²⁵. También, se utilizan cargas para dotar al papel de más opacidad, blancura y homogeneidad, mejorando así las propiedades ópticas y aportando mayor flexibilidad y estabilidad dimensional al papel²⁶. Se han utilizado muchos materiales como carga para el papel²⁷: el yeso (sulfato de calcio) se empezó a utilizar entre 1800 y 1823 el caolín (silicato hidratado de aluminio) utilizado a partir de 1870. Sin embargo, las cargas más utilizadas hoy en día son el talco (sulfato de magnesio), la tiza (carbonato de calcio), el óxido de titanio, el carbonato de calcio artificial y el sulfato de bario²⁸.

En la actualidad existen artesanos que fabrican papel siguiendo las técnicas antiguas, produciendo láminas de alta calidad o belleza. Sin embargo, hoy en día, la práctica totalidad del papel se elabora industrialmente a partir de pastas de madera. Las fábricas están compuestas por máquinas de grandes dimensiones que permiten fabricar papel a una muy alta velocidad. No obstante, la fabricación actual del papel está basada en la máquina de Nicholas-Louis Robert y se mantienen los mismos principios, salvo porque ha sido ampliamente mejorada y perfeccionada para aumentar el rendimiento de producción²⁹. En definitiva, la fabricación del papel a nivel industrial requiere una tecnología muy sofisticada y compleja³⁰.

²² LIENARDY, A., VAN DAMME, P. *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut Royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p 24.

²³ BANIK, G., CREMONESI, P., ET AL. *Nuove Metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, Ed. Il prato, Padova, 2003, p. 15.

²⁴ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 64.

²⁵ BANIK, G., CREMONESI, P., ET AL. *Nuove Metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, Ed. Il prato, Padova, 2003, p. 15

²⁶ LIENARDY, A., VAN DAMME, P. *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut Royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p 20.

²⁷ El uso de cargas en la fabricación del papel es muy complicado de datar. Sin embargo, se sabe que se utilizaban originalmente cuando el papel se vendía a peso ya que servía para aumentar las ganancias de los artesanos papeleros.

²⁸ RODRÍGUEZ, M. D. *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*. Servicio Editorial Universidad del País Vasco, pp 41 – 42.

²⁹ COPÉDÉ, M. *La carta e il suo degrade*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, p. 32.

³⁰ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 65.

FÍSICA Y QUÍMICA DEL PAPEL

Composición del papel



Ilustración 6. Fibra de algodón bajo el microscopio.

Imagen extraída de:
http://edym.net/Materia_prima_textil_gratis/2p/matprim/cap06/cap06-1.htm

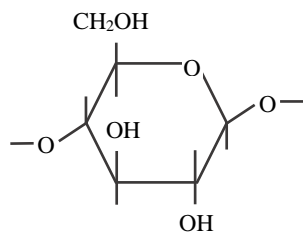


Ilustración 7. Fórmula desarrollada del monómero de celulosa.

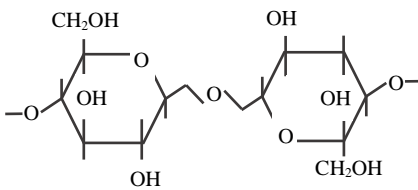


Ilustración 9. Fórmula desarrollada dos monómeros de la cadena de celulosa formando una unidad de celobiosa.

Para llevar a cabo con éxito la presente investigación es de suma importancia conocer y comprender la composición química del papel y, por tanto, de la celulosa, su estructura física y las fuerzas físico-químicas que intervienen en su formación.

El papel se obtiene a partir de fibras vegetales (Ilustración 6) que fueron básicamente células de plantas. En gran medida, esta composición química compuestas mayoritariamente por celulosa y hemicelulosas, y las fibras que provienen de la madera tienen además lignina, trazas de resina, taninos y demás impurezas. Por otro lado, también se ha de tener en cuenta que, tras tratar químicamente el papel, la composición de este cambia. En general, estos procedimientos químicos tratan de reducir el porcentaje de lignina y otras impurezas³¹.

Composición de la celulosa

La celulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Ilustración 7) se encuentra en las paredes celulares de las plantas. Este polímero es una molécula formada por monómeros³² (Ilustración 8) estructurados en forma de cadenas (Ilustración 9)³³.

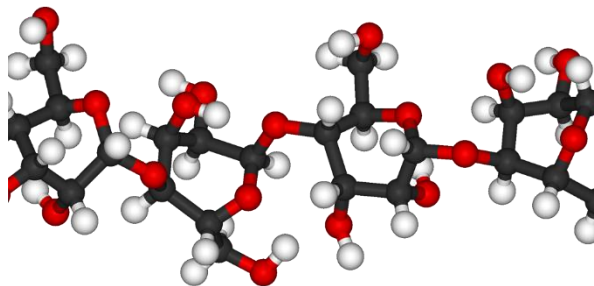


Ilustración 8. Estructura 3D de un polímero de celulosa. Imagen extraída de: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Cellulose-3D-balls.png>

El número n en la molécula de celulosa indica el grado de polimerización (o g.p). Por otro lado, cuanto mayor es la cadena de celulosa, mayor es el g.p, y a su vez, cuando mayor sea el g.p. es más estable. El g.p varía dependiendo del origen de la celulosa³⁴. Asimismo, la fórmula empírica de la celulosa, $((C_6H_{10}O_5)_n)$ indica la proporción de átomos presentes en una molécula determinada. Sin embargo, no muestra la disposición de dichos átomos, por lo que estos pueden tener diferente organización³⁵. Por ejemplo, el almidón es un material completamente distinto, pero posee la misma fórmula empírica que la

³¹ ROBERTS, J.C. *The chemistry of paper* [en línea]. The Royal Society of Chemistry. RSC Paperbacks, 1996, p 17. [Consultado el 9 de febrero de 2020] Disponible en: https://tuxdoc.com/download/chemistry-of-paper-roberts-jc_pdf

³² Molécula formada por la unión de muchas unidades iguales.

³³ BANIK, G; BRÜKLE, I. *Paper and water. A guide for Conservators*. Elsevier, 2011, p.83.

³⁴ BRANDT, A-C. *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p.11.

³⁵ Muñoz, S.: (). *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 70-71.

celulosa: la diferencia fundamental entre la celulosa y el almidón es su organización en la fórmula desarrollada.

Desde otro punto de vista, la celulosa es un polisacárido lineal de origen vegetal formado por moléculas monoméricas, unidas por enlaces β (1-4) glucosídicos. Está formada por largas cadenas de monómeros que están unidas entre sí gracias a los átomos de oxígeno que se combinan con los átomos de carbono 1 – 4 (enlace β (1-4) glucosídicos). Además, estas cadenas de celulosa se organizan en conjuntos pseudocristalinos, también llamados *microfibrillas*, donde las moléculas se estructuran de manera paralela, unas a otras, para formar puentes de hidrógeno³⁶. De esta manera las *microfibrillas* están formadas por micelas, y estas a su vez son la estructura de la celulosa que conforman las fibras vegetales³⁷ (Ilustración 10).

Por otro lado, en las fibras se permite distinguir dos capas diferenciadas. La primera es una capa externa, también llamada *membrana primaria*, rica en sustancias no celulósicas, como la lignina o la pectina. El interior, llamado capa interna o *membrana secundaria*, está formado por las *microfibrillas* alineadas paralelamente al sentido de la fibra, que a su vez están formadas por moléculas de celulosa cubiertas de hemicelulosa. Los elementos interesantes para la fabricación del papel son la celulosa y la hemicelulosa. La lignina, sin embargo, representa una fracción que se procura disminuir o eliminar, de ahí que las operaciones de refinado de la pasta de papel busquen romper esa capa externa y dejar la capa interna desprovista de ese revestimiento³⁸.

Otros compuestos presentes en el papel

Las moléculas de celulosa crecen en tamaño conforme se van formando, sin embargo, al principio, estas moléculas tienen un grado de polimerización muy bajo. Estas moléculas de celulosa es lo que se denomina *hemicelulosa*. Este compuesto es un polisacárido con una estructura análoga a la celulosa y además cuenta con otros grupos glucosídicos, como la xilosa o la glucosa³⁹. Las cadenas que forma son más cortas y suelen estar ramificadas, por lo que pueden experimentar reacciones de oxidación, reducción, etc. Esto es debido a que son sustancias amorfas, presentan un grado de cristalinidad bajo y son químicamente menos estables que la celulosa⁴⁰. Además, está ampliamente reconocido que la hemicelulosa posee propiedades beneficiosas para la pulpa y el papel. En particular, son fácilmente hidratables, contribuyen a la hinchazón de la pulpa y se enlazan muy fácilmente con otras moléculas de celulosa, por tanto, ayudan a la unión de las fibras durante la formación del papel⁴¹.

Por otro lado, la *lignina*, es un polímero natural orgánico, cuya estructura es extremadamente compleja y cuya composición aún hoy en día es objeto de

³⁶ Ibíd pp 75-77.

³⁷ MARTIN, G. *Físico-química del papel*. Publicaciones Offset, 1965, pp 6-9.

³⁸ Ibíd pp 6-9.

³⁹ SEGEBARTH, I. *Les papiers transparents anciens: Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Editorial: Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris, 2000, p. 18.

⁴⁰ La hemicelulosa forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa. Se degrada más rápidamente y disminuye el grado de polimerización de la celulosa.

FENGEL, D., WEGENER, G. *Wood Chemistry, Ultrastructure and Reaction*, Walter de Gruyter, Berlin, 1984, pp 2, 25-35, 184-20, 217-220.

⁴¹ ROBERTS, J.C. *The chemistry of paper* [en línea]. The Royal Society of Chemistry. RSC Paperbacks, 1996, pp 21 - 24. [Consultado el 12 de febrero de 2020] Disponible en: https://tuxdoc.com/download/chemistry-of-paper-roberts-jc_pdf

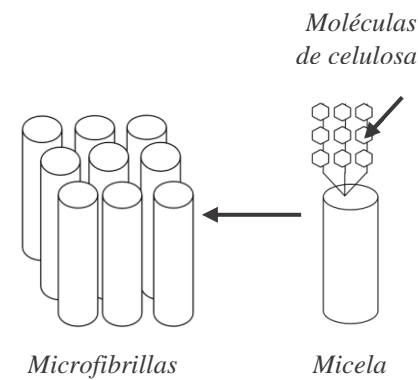


Ilustración 10. Esquema de organización de las moléculas de celulosa en micelas y microfibrillas.

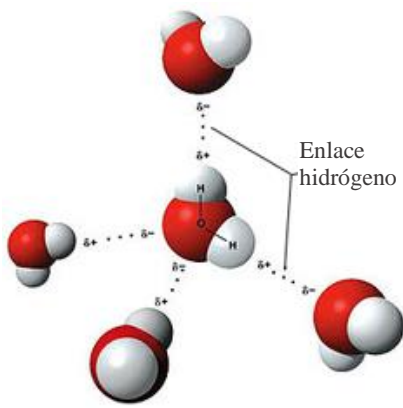


Ilustración 11. Estructura 3D de la formación de enlaces de hidrógeno.

Imagen extraída de:
https://escholarium.educarex.es/useruploads/r/c/55533/scorm_imported/42886657697715366619/una_molcula_muy_especial.html

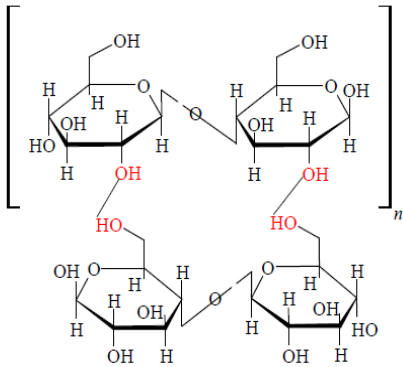


Ilustración 12. Formación de puentes de hidrógeno (en rojo) entre dos cadenas de celulosa.

debate⁴². Está formada por diversos compuestos, tales como azúcares, carbón, oxígeno, hidrógeno, etc. Posee un grado de polimerización bajo y su función principal es conferir a las paredes celulares del vegetal resistencia física y rigidez. Además, su presencia es indeseable para el papel ya que causan oxidación fotoquímica y amarilleamiento, por lo que los papeles de mayor calidad normalmente están hechos de pulpa donde la lignina ha sido eliminada⁴³.

El puente de hidrógeno

El enlace de hidrógeno (*Ilustración 11-12*) es una fuerza de atracción intermolecular⁴⁴ y se basa en la polaridad de las moléculas. Esta polaridad se debe a que los centros de las cargas eléctricas negativas y positivas no coinciden en las moléculas polares, de ahí que presenten “polos” magnéticos y se atraigan entre sí⁴⁵. El agua (H₂O) es un compuesto polar y sus moléculas se mantienen unidas en cierta parte por los puentes de hidrógeno presentes en cada molécula: los hidrógenos de una molécula son atraídos por el oxígeno de la otra, a causa de sus polaridades eléctricas contrarias⁴⁶.

El concepto de polaridad es importante ya que es una propiedad de las moléculas que representa la desigualdad⁴⁷ de las cargas eléctricas en la misma. Esta propiedad se relaciona con otras propiedades químicas y físicas como la solubilidad, punto de fusión, fuerza intermolecular, etc⁴⁸. También explica la unión entre las fibras del papel sin necesidad de ningún adhesivo.

Como se ha dicho anteriormente, la celulosa es un polisacárido lineal formado por moléculas monoméricas, unidas por enlaces β (1-4) glucosídicos. Contiene grupos oxhidrilo⁴⁹ que se enlazan a los carbonos 2, 3 y 6 de cada monómero, por lo que cuando se aproxima otra molécula polar se establece una atracción magnética entre ambas. No obstante, los grupos polares presentes en la celulosa pueden formar puentes de hidrógeno con el agua, permaneciendo algunas moléculas dentro del papel⁵⁰. Este mecanismo es el que mantiene las fibras de papel unidas entre sí.

⁴² MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 73 – 74.

⁴³ SEGEBARTH, I. *Les papiers transparents anciens: Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Editorial: Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris, 2000, p. 18.

⁴⁴ SAN ANDRÉS, M., DE LA VIÑA, S. *Fundamentos de química y física para la conservación y restauración*. Editorial Síntesis, pp 79 – 81.

⁴⁵ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 77 – 78.

⁴⁶ MARTIN, G. *Físico-química del papel*. Publicaciones Offset, 1965, pp 19 – 23.

⁴⁷ ENCICLOPEDIA QUÍMICA. [Consultado el 12 de febrero de 2020] Disponible en: https://www.quimica.es/enciclopedia/Polaridad_%28qu%C3%ADmica%29.html

⁴⁸ ROBERTS, J.C. *The chemistry of paper* [en línea]. The Royal Society of Chemistry. RSC Paperbacks, 1996, pp 54 - 59. [Consultado el 12 de febrero de 2020] Disponible en: https://tuxdoc.com/download/chemistry-of-paper-roberts-jc_pdf

⁴⁹ El grupo hidroxilo u oxhidrilo (-OH), es el grupo funcional característico de los alcoholes y de los fenoles. Se trata de sustancias polares debido a la electronegatividad del oxígeno que, incluso, tienen un carácter débilmente ácido. Los alcoholes de bajo peso molecular son totalmente solubles en agua y tienen puntos de fusión y de ebullición muy superiores a los de los hidrocarburos de igual número de carbonos pues pueden formar puentes de hidrógeno intermoleculares. [Consultado el 12 de mayo de 2020] Disponible en: http://aula.educa.aragon.es/datos/AGS/Quimica/Unidad_08/page_13.htm

⁵⁰ Esto se debe a que, en la formación del papel, las fibras se mezclan con el agua. La mayor parte de esta agua se evapora y una parte permanece dentro del papel, ya que la fuerza que se establece en el puente de hidrógeno es suficiente para que esta no se evapore.

MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 78.

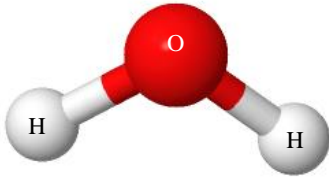


Ilustración 13. Estructura 3D de una molécula de agua.

Imagen extraída de:

http://www.iesbinef.educa.aragon.es/fiqui/jmol/tiposustancias.htm?_USE=HTML5

Entender cómo funciona este efecto es muy importante a la hora de conservar y restaurar una obra. Por ejemplo, en el caso de que las condiciones ambientales fuesen extremadamente secas, la unión entre fibras se vería comprometida y el papel se debilitaría. Si fuese el caso contrario y hubiese excesiva humedad, las moléculas de agua se verían multiplicadas, alejando las fibras entre sí y permitiendo el desplazamiento entre ellas. Las moléculas de agua (*Ilustración 13*) son extremadamente pequeñas⁵¹, pero cuando una hoja de papel se humedece, se intercalan entre las moléculas de celulosa y aumentan el tamaño del papel. Además, las moléculas de celulosa se organizan en su mayoría en sentido paralelo al eje de la fibra. Al humedecer homogéneamente una hoja cuyas fibras estén ordenadas preferentemente en un sentido⁵², esta hoja aumentará mayoritariamente en dirección perpendicular a las fibras⁵³. Este fenómeno se denomina anisotropía⁵⁴ y explica muchos problemas relacionados con los procesos de laminación y alisado del papel.

⁵¹ Posee una longitud de enlace alrededor de 0,097 nm. Esta longitud de enlace o distancia de enlace es la distancia media en el tiempo entre los núcleos de dos átomos unidos mediante un enlace químico en una molécula.

[Consultado el 12 de mayo de 2020] Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Chemical/water.html>

⁵² Como ocurre con los papeles Fourdrinier.

⁵³ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 79 - 80.

⁵⁴ La anisotropía es la cualidad de tener características diferentes, como propiedades o dimensiones, a lo largo de ejes diferentes.

TESAURO DE ARTE & ARQUITECTURA [en línea] [Consultado el 16 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.aatespanol.cl/terminos/300221183>.

4. TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN DE PAPEL

Although concerned about the same subject, the preservation of cultural property, the conservation scientist looks at objects from a microscopic, while the conservator is - and must be- concerned about the entire object⁵⁵

Gerhard Banik and Irene Brückle (2011)

ANÁLISIS DEL PROCESO DE ALISADO

El alisado es uno de los tratamientos de restauración más comunes e importantes desde el punto de vista estético⁵⁶. Esta operación consiste en disminuir o eliminar las distorsiones planimétricas en el papel, con el objetivo de mantener o devolver en la medida de lo posible la dimensión original del mismo⁵⁷. Realizar este tratamiento suele implicar un riesgo mínimo para la hoja por lo que es una operación que se aplica prácticamente en la totalidad de los procesos de restauración y conservación del papel. La técnica del alisado consiste, en la gran mayoría de casos, en tres pasos básicos: (1) humectar el papel, (2) fijarlo y (3) secar el papel⁵⁸.

A cualquiera de estas tres acciones se les puede aplicar múltiples variaciones y sistema⁵⁹.s; todo ello dependerá de numerosos factores tales como las propiedades del papel, los recursos disponibles del restaurador, la experiencia que este posea, etc.⁶⁰

Los puentes de hidrogeno son el fenómeno físico detrás de esto. Como se ha explicado anteriormente este enlace consiste en la atracción electromagnética producida entre dos moléculas de agua o una molécula de agua y otras moléculas polares: cuando se disponen en una posición concreta, se atraen entre sí y se mantienen unidas⁶¹. En este tratamiento se pretende agregar moléculas de agua al papel, de modo que los enlaces interfibrilares se puedan aflojar y las fibras se liberen. Normalmente se procura depositar la lámina sobre una superficie lisa y fijarla hasta que el documento se encuentra seco. Al finalizar el proceso de secado.

⁵⁵ BANIK, G; BRÜCKLE, I. *Paper and water. A guide for conservators*. Elsevier, 2011, p 17.

⁵⁶ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 155 - 156.

⁵⁷ SUGARMAN, J. E., TIMOTHY J. V. *Observations on the Drying of Paper: Five Drying Methods and the Drying Process*. Journal of the American Institute for Conservation 31 (2), 1992, pp 175-197.

⁵⁸ MUÑOZ, S. *Understanding paper flattening (1). Principles and problems of common flattening techniques*. ARCHÉ. Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006, p 1.

⁵⁹ WATKINS, S. *Practical Considerations for Humidifying and Flattening Paper*. The Book and Paper Group Annual 21 – 61, 2002, p 66.

⁶⁰ *Ibíd* pp 61 – 62.

⁶¹ MARTIN, G. *Físico-química del papel*. Publicaciones Offset, 1965, pp 19 – 23.

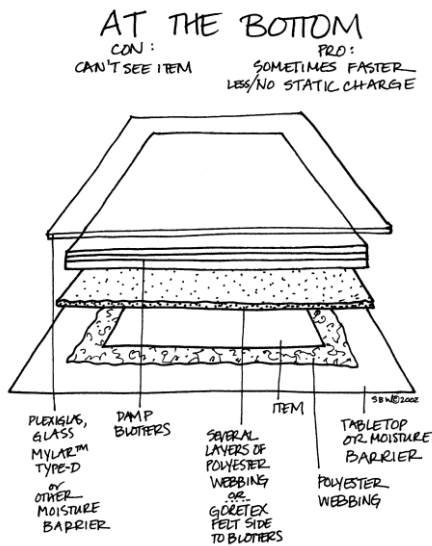


Ilustración 14. Esquema de sistema de humectación mediante membrana de Gore-Tex®.

Imagen extraída de: Watkins, S.: (2002) *Practical Considerations for Humidifying and Flattening Paper*. The Book and Paper Group Annual 21 – 61, p 64.

Humectación del papel

El primer paso que cualquier conservador-restaurador deberá realizar en el proceso de alisado es la introducción de agua en el papel⁶². El objetivo de la humectación es introducir humedad en el soporte para relajar las fibras. A pesar de que esta técnica representa un riego mínimo, no es una excepción. El alisado puede poner en riesgo la lámina provocándole, por ejemplo; estrés físico como resultado de aplicar demasiada cantidad de agua en muy poco tiempo o una distribución de humedad poco homogénea⁶³.

La forma más habitual de humectar una hoja de papel consiste en sumergir la lámina en agua o agregar agua mediante alguna herramienta como podría ser un atomizador o una brocha⁶⁴. De esta forma, se puede aplicar de manera localizada y controlada. También se puede poner la lámina entre hojas de papel o fieltro humedecidas o en contacto con un material de barrera que permita pasar el vapor⁶⁵, como el Gore-Tex®⁶⁶ (*politetrafluoroetileno* o *PTFE*)⁶⁷ (Ilustración 14). En este tipo de técnica se realiza una estructura tipo sándwich, donde la hoja objeto del tratamiento queda en medio de varias capas, que pueden variar según las necesidades.

Las moléculas de agua también se pueden aplicar en forma de vapor exponiendo la lámina a un ambiente húmedo en una cámara de humedad o un humidificador ultrasónico⁶⁸, por ejemplo. Depende de muchos factores el grado de humectación que se debe aplicar. Primordialmente depende del grado de humectación que se debe aplicar. Primordialmente depende del grado de alisamiento requerido (que a su vez depende de la deformación producida). A su vez, depende de la capacidad de retención de agua que dicho papel tenga (que depende directamente del gramaje, tipo y grado de encolado interno, porosidad, de la composición, etc.). Por lo que, como conclusión, es el propio conservador-restaurador el que debe analizar y decidir cómo afrontar dicho tratamiento, basándose fundamentalmente en la experiencia y práctica adquirida⁶⁹.

⁶² SUGARMAN, J. E., VITALE, J, T. *Observations on the Drying of Paper: Five Drying Methods and the Drying Process*. Journal of the American Institute for Conservation 31 (2), 1992, pp 175-197.

⁶³ WATKINS, S. *Practical Considerations for Humidifying and Flattening Paper*. The Book and Paper Group Annual 21 – 61, 2002, p 62.

⁶⁴ El uso de un cepillo húmedo, como un Mizubaki japonés, es tradicional para la humidificación del papel.

⁶⁵ *Ibíd* p 65.

⁶⁶ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 157 – 158.

⁶⁷ DWAN, A. *Use of Goretex to Dry Smooth, Calendered, and Modern Papers*. Book and Paper Group Annual 11, 1992, pp 22-23.

⁶⁸ Se trata de un polímero de extraordinarias propiedades como una gran resistencia a la tracción, una constante dieléctrica baja, resistencia a los rayos UV, etc. [Consultado el 24 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.gore.com/es/tecnologias#>

⁶⁹ WATKINS, S. *Practical Considerations for Humidifying and Flattening Paper*. The Book and Paper Group Annual 21 – 61, 2002, p 63.

⁷⁰ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 157 – 158.

Fijación del papel

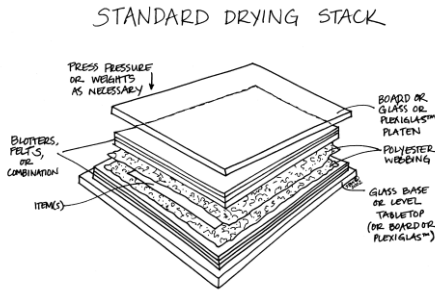


Ilustración 15. Esquema de sistema secado.

Imagen extraída de: Watkins, S.: (2002) *Practical Considerations for Humidifying and Flattening Paper*. The Book and Paper Group Annual 21 – 61, p 67.

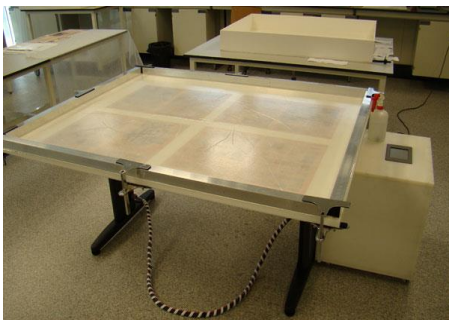


Ilustración 16. Sistema pleural del taller de conservación y restauración del papel del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV.

Imagen extraída de:
<https://irp.webs.upv.es/es/sistema-pleural-para-alisado-de-papel/>

El objetivo de la fijación (Ilustración 15), es inmovilizar el papel hasta que se seque completamente. La hoja se seca debido a que las moléculas de agua se evaporan, acortando las cadenas interfibrilares y aumentando la resistencia de dicho papel. El papel es un material que consta de partes más porosas y que contienen más agua. Esto provoca que algunas zonas de la lámina se sequen y se contraigan más rápido que el resto. Si no se realiza la fijación del papel cuando esté aún está húmedo, el resultado será una lámina con arrugas por un secado desigual. No obstante, si la lámina se ha fijado correctamente el movimiento de las fibras se verá limitado⁷⁰.

Las técnicas utilizadas se pueden dividir en dos categorías: pueden ser técnicas que utilizan la **presión** o técnicas que emplean la **tensión**⁷¹. Las técnicas que utilizan la presión consisten en aplicar fuerza en todas las superficies de la hoja. Se puede realizar de muchas maneras, por ejemplo, se puede colocar la hoja entre dos superficies planas y agregar peso encima, se pueden utilizar prensas manuales, prensas neumáticas o mesas de vacío. Incluso se pueden utilizar sistemas específicos para restaurar y alisar obra gráfica y documentos, como el *sistema pleural*⁷² (Ilustración 16) patentado por el catedrático Salvador Muñoz Viñas⁷³.

Por otro lado, las técnicas que emplean la tensión consisten fundamentalmente en humedecer las hojas, colocarlas sobre una superficie lisa y rígida y aplicar una pequeña cantidad de adhesivo⁷⁴. De igual forma que en el anterior caso, esta técnica admite múltiples variantes como el uso de falsos márgenes, realizar una laminación⁷⁵ o utilizar un *karibari*⁷⁶.

Secado del papel

Según los autores Jane E. Sugarman y Timothy J. Vitale en su publicación: "*Observations on the Drying of Paper: Five Drying Methods and the Drying Process*"⁷⁷ diferencian ciertas etapas del proceso de secado del papel. Estas fases se podrían esquematizar del siguiente modo:

⁷⁰ MUÑOZ, S. *Understanding paper flattening (1). Principles and problems of common flattening techniques*. ARCHE. Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006, p 3.

⁷¹ MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 181 – 198.

⁷² El sistema consiste en una unidad programable de control de vacío y presión que se conecta a una mesa fabricada con materiales no adherentes. En su interior dispone de una serie de conductos y sensores para el control de la presión y del flujo del aire, lo que permite, entre otras cosas, el secado automatizado de las hojas bajo presión. [Consultado el 29 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-catedratico-politecnica-salvador-munoz-primer-fellow-espanol-instituto-internacional-conservacion-20101116183007.html>.

⁷³ [Consultado el 29 de febrero de 2020] Disponible en: <https://www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-catedratico-politecnica-salvador-munoz-primer-fellow-espanol-instituto-internacional-conservacion-20101116183007.html>.

⁷⁴ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 163 – 169.

⁷⁵ Consiste en la aplicación de una hoja entera de papel japonés de bajo gramaje que cubra la totalidad del reverso de la hoja que se desea alisar.

Ibíd p 164.

⁷⁶ Ibíd p 167.

⁷⁷ SUGARMAN, J. E., TIMOTHY J. V. "*Observations on the Drying of Paper: Five Drying Methods and the Drying Process*." Journal of the American Institute for Conservation 31 (2). 1992.

- Primera etapa: el papel se encuentra empapado y con un aspecto brillante.
- Segunda etapa: los poros del papel se encuentran saturados de agua, el aspecto del papel sigue siendo brillante, pero comienzan a haber zonas oscuras y mates.
- Tercera etapa: comienzan a evaporarse las moléculas de agua en los poros de mayor tamaño, sigue habiendo zonas oscuras mates y translucidas.
- Cuarta etapa: el agua se mantiene en los poros de menor tamaño y el papel pasa a tener un aspecto mate claro.
- Quinta etapa: el papel comienza a distorsionarse de manera física.
- Sexta etapa: el agua que se encuentra en las fibras se evapora, el papel sigue teniendo un aspecto mate claro.
- Séptima etapa: el papel se equilibra con el ambiente con un contenido de agua entre el 5 y el 8%.

En las técnicas en las que se emplea tensión, las hojas se secan por evaporación, por lo que no se requiere de ninguna disposición especial. No obstante, en las técnicas de presión al no estar en contacto con el aire, las hojas no se secan de igual forma⁷⁸, porque se necesita intercalar un material absorbente⁷⁹ entre las superficies del prensado y la lámina objeto del alisado. En algunas ocasiones este material se satura antes de que la lámina esté completamente seca, por lo que se debe sustituir por uno nuevo tantas veces como sea necesario. Además, se debe añadir presión mediante alguno de los sistemas descritos anteriormente. Este proceso de sustituir el material absorbente, volver a colocar todas las capas en su lugar y aplicar presión nuevamente, puede llegar a ser una operación tediosa y lenta, especialmente si se están aplanando muchas hojas, como por ejemplo al tratar un libro o cuando la lámina es muy grande. En este punto del tratamiento es crucial que la hoja se encuentre continuamente bajo presión ya que en caso contrario puede secarse localmente y provocar arrugas y ondulaciones⁸⁰.

Las técnicas que emplean tensión, el papel se seca porque las moléculas salen del mismo por evaporación a la atmósfera. Este proceso es más rápido que en los que se emplean presión. Sin embargo, en ambos casos, depende de diferentes factores tales como el tamaño de la lámina, el tipo de papel, el grado de humectación, la superficie en la que se encuentra adherida y las condiciones medioambientales en las que se esté desarrollando este proceso.

ALISADO EN TENSIÓN

Los sistemas de alisado en tensión se basan en el hecho de que el papel húmedo se encoge a medida que va secándose. Se fundamentan en la adhesión de los márgenes de la hoja a una superficie plana y rígida, la tensión causada por la contracción evitará que el papel se arrugue o se doble durante el proceso de secado.⁸¹

⁷⁸ MUÑOZ, S. *Understanding paper flattening (1). Principles and problems of common flattening techniques*. ARCHE. Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006, p 3.

⁷⁹ El papel secante es una muy buena opción, ya que se pueden combinar varias hojas de este papel y utilizar un gramaje más alto, por ejemplo.

⁸⁰ MUÑOZ, S. *Understanding paper flattening (1). Principles and problems of common flattening techniques*. ARCHE. Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006, p 4.

⁸¹ MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 181 – 198.



Ilustración 17. Ejemplo de laminación realizado por Jakob Zelazowski y la autora, en la asignatura de *Técnicas instrumentales de la restauración de papel*, impartida en la Universidad Politécnica de Valencia.



Ilustración 18. Copia de un grabado en madera del siglo XIV de un sacerdote *hyōgushi* y su asistente utilizando un *karibari*, del pintor japonés Fujiwara Takakane (1923).

Imagen extraída de:
<https://theheritagetrust.wordpress.com/2017/04/18/hyogu-the-ancient-art-of-picture-conservation-in-japan/>

Esta técnica se realiza aplicando primero una pequeña cantidad de adhesivo en los bordes de la hoja húmeda y fijándola a una superficie adecuada. La hoja se seca primero por los bordes y al seguir secándose se contrae y se tensa. No obstante, se han de tener en cuenta diferentes factores. En primer lugar, el adhesivo que se emplee debe ser soluble en agua o en líquidos miscibles en agua ya que la lámina debe encontrarse húmeda. Los adhesivos más utilizados son los éteres de celulosa o los almidones. En segundo lugar, una vez ya seca la hoja, la unión entre la superficie lisa y la hoja no puede disolverse mediante agua u otros disolventes polares, ya que si esta se moja se iniciarán de nuevo las distorsiones físicas. Por lo tanto, la lámina debe adherirse al soporte de tal forma que se permita el despegado de la misma mecánicamente por simple tracción o con la ayuda de alguna herramienta como pudiera ser una espátula o plegadera⁸².

Hay una gran cantidad de variaciones técnicas en este procedimiento. Una de ellas consiste en añadir bandas o refuerzos⁸³ para sujetar la hoja en la posición deseada. Estos refuerzos generalmente son de papel japonés, se fijan a la hoja con una cantidad muy pequeña de adhesivo y cubriendo apenas unos milímetros del margen de la hoja original. Acto seguido se humecta la hoja y se adhieren los refuerzos a la superficie de alisado. De esta forma la lámina queda sujeta por las bandas y, al contraer durante el secado, la hoja se mantiene lisa. Finalmente, el conjunto se despega de la base mediante tracción⁸⁴. Otra posibilidad es realizar una laminación (Ilustración 17), que consiste en la aplicación de una lámina entera que cubra la totalidad de la superficie de la hoja a alisar. Este procedimiento se hace adhiriendo una hoja de papel japonés de mayor tamaño que la hoja que se va a alisar con un adhesivo acuoso. Esto se puede realizar colocando sobre la hoja que va a laminar, previamente humectada. El conjunto se deja secar y se retira de la base. Asimismo, se puede colocar la hoja original humectada sobre la superficie lisa, aplicando después el papel japonés y el adhesivo. Por último, el papel japonés de refuerzo podría eliminarse por tracción. Sin embargo, en ocasiones este procedimiento es complicado y puede ser más seguro dejar el papel japonés como refuerzo de la hoja original⁸⁵.

Todos los métodos presentan ventajas e inconvenientes. En el caso del alisado en tensión se puede emplear una base elástica o un *karibari*. El *karibari* es un término que proviene del campo de montaje y alisado tradicional japonés (Ilustración 18), llamado *hyōgu*, *hyoso* o *soko*^{86 87}. El significado en sí de la palabra *karibari* es “pegar temporalmente” y a veces, el panel o tablero donde se ha llevado a cabo el procedimiento también se ha llamado de tal forma.

Originalmente el *karibari* proviene de China. Sin embargo, cuando llega a Japón, los antiguos montadores y restauradores japoneses se dieron cuenta de que la arquitectura tradicional japonesa carecía de muros. En lugar de paredes, se podían encontrar *fusuma* o puertas correderas. En la arquitectura japonesa tradicional estos paneles se hacían pegando muchas hojas de papel en un marco

⁸² MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 163.

⁸³ También llamados falsos márgenes.

⁸⁴ *Ibíd* pp 163 – 164.

⁸⁵ *Ibíd* p 164.

⁸⁶ Estas tres palabras tienen prácticamente el mismo significado en los diccionarios. Definen el arte de restaurar y montar obras de arte sobre papel y seda.

[Consultado el 15 de marzo de 2020] Disponible en: <https://theheritagetrust.wordpress.com/2017/04/18/hyogu-the-ancient-art-of-picture-conservation-in-japan/>

⁸⁷ MASATO KATO; TAKAYUKI KIMISHIMA. *Karibari: The Japanese drying technique* en “Adapt & Evolve 2015: East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. Proceedings from the International Conference of the Icon Book &

de madera con una celosía del mismo material. La diferencia entre esto y un *karibari* es el siguiente paso de su estructura. A las puertas correderas se les aplicaba un *karakami* o papel decorado, mientras que a un *karibari* se le aplica un papel recubierto de *kakishibu* o jugo de caqui fermentado⁸⁸. Este papel recubierto tiene una función similar a la de una lámina microporosa (Gore-Tex®): el vapor de agua puede pasar a través de la lámina mientras que el agua líquida se repele desde la superficie de la lámina⁸⁹. Por otro lado, este elemento también refuerza las superficies hechas de papel que forman el panel. Estas características permiten que se pueda adherir una lámina en un *karibari* usando almidón o un éter de celulosa y luego retirarlo⁹⁰.

El procedimiento para realizar un alisado mediante un *karibari* (Ilustración 19) es el mismo que el anteriormente descrito. Se pueden emplear “falsos márgenes” o realizar una laminación. Las características del *karibari* hacen que este sea una herramienta muy beneficiosa para el alisado de hojas. Estos paneles son portátiles, lo que hace posible que este método sea ampliamente utilizado en espacios pequeños. Por otro lado, este método permite un secado más rápido que en un alisado en presión⁹¹. Este secado rápido significa un rápido aumento de la tensión que pueden causar daños en el papel, por lo que también tiene desventajas ya que la tensión producida por el secado puede causar roturas cuando la hoja a alisar presenta puntos débiles (pliegues, rasgados, etc)⁹².

Es preciso mencionar que es muy importante la formulación del adhesivo que se va a emplear. Es recomendable preparar formulaciones con baja capacidad adhesiva ya que en el caso de utilizar un adhesivo con un poder adhesivo fuerte la hoja puede no despegarse por tracción, mientras que si se utiliza un adhesivo con poca adhesión el único riesgo que se corre es que la hoja se despegue y se deba iniciar el proceso de nuevo.

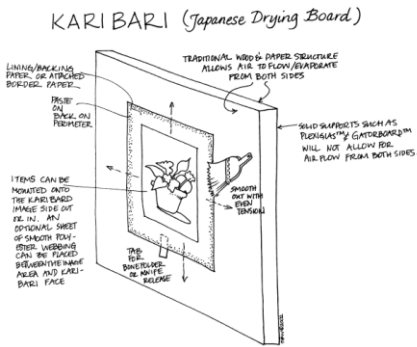


Ilustración 19. Esquema de un *karibari*.

Imagen extraída de: Watkins, S.: (2002) Practical Considerations for Humidifying and Flattening Paper. The Book and Paper Group Annual 21 – 61, p 71.

Paper Group”, London 8- 10. Tokyo National Research Institute for Cultural Properties, 2015, pp 91 – 92.

⁸⁸ Karibari - The Japanese Drying Board. [en línea] [Consultado el 18 de julio de 2020] Disponible en: <https://vimeo.com/89455385>

⁸⁹ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 139-141.

⁹⁰ MASATO KATO; TAKAYUKI KIMISHIMA. *Karibari: The Japanese drying technique* en “Adapt & Evolve 2015: East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. Proceedings from the International Conference of the Icon Book & Paper Group”, London 8- 10. Tokyo National Research Institute for Cultural Properties, 2015, pp 91 – 92.

⁹¹ *Ibíd*, pp 91 – 92.

⁹² MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 167.

5. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Science never solves one problem without creating another ten⁹³.

George Bernard Shaw (1856-1950)

PROBLEMÁTICA DERIVADA DE LA TÉCNICA

El principal problema en el **alisado en presión** se centra en la falta de homogeneidad en la presión ejercida durante el proceso de secado. Dicho problema se incrementa cuanto mayor es el formato de la hoja a alisar ya que hay más superficie que cubrir y la falta de homogeneidad en este proceso puede provocar en el papel ondulaciones. Sería lógico pensar que la solución es colocar más peso, sin embargo, esto resulta frecuentemente inadecuado ya que colocar un material pesado en la parte central del documento provoca una zona con mayor presión. Esto puede provocar unas ondulaciones de tipo radial en el papel.

Otro problema que presenta esta técnica es que puede llegar a modificar la textura del papel. Además, cuanto más lisa es la superficie de un documento, mayor es el riesgo a que su textura cambie notablemente⁹⁴. Esto es especialmente relevante si el documento posee algún tipo de elemento gráfico con volumen como por ejemplo filigranas, relieve de las tintas, sellos o huellas tipográficas.

El **alisado en tensión** tampoco está exento de inconvenientes. Como se ha explicado anteriormente, durante el secado de la lámina, el papel experimenta una retracción. Si esta tensión es grande existe el riesgo de que dicho papel se deforme, llegando incluso a rasgarse. Habitualmente el secado comienza por la periferia de la hoja, por lo que poco a poco el papel se va estirando de fuera hacia dentro hasta resultar completamente seco. No obstante, algunas veces la elasticidad del papel no soporta dicha tensión y termina rompiéndose por las zonas más débiles. Por lo que, el riesgo de que el papel se rasgue se ve incrementado notablemente si la hoja presenta puntos débiles como dobleces, roturas o pliegues.

En principio el método para alisar mediante laminación no suele representar un problema en el caso de hojas con un lado en blanco, ya que se procedería a realizar dicho procedimiento por dicho lado. No obstante, en las hojas con material gráfico presente en sus dos caras sí representa un problema, ya que alteran la apariencia totalmente, empalideciendo los colores y cambiando las texturas originales.

PROBLEMÁTICA DERIVADA DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL

Cualquier sistema de alisado presenta problemas. Este punto del trabajo analiza el problema del cambio dimensional, considerado uno de los mayores

⁹³ Speech at the Einstein Dinner, Savoy Hotel, London (28 Oct 1930). Reproduced in George Bernard Shaw and Warren Sylvester Smith (ed.), *The Religious Speeches of George Bernard Shaw* (1963).

⁹⁴ MUÑOZ, S. *Understanding paper flattening (1). Principles and problems of common flattening techniques*. ARCHE. Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006, p 4.

inconvenientes ya que se trata de una modificación irreversible. Para comprender la alteración del tamaño de las hojas, primero es necesario entender el comportamiento anisotrópico e higroscópico del papel.

El término **higroscópico** (del griego ὑγρός *hygros* 'húmedo, mojado' y σκοπεῖν *skopein* 'observar, mirar') define la tendencia de una sustancia a absorber o atraer agua desde el ambiente⁹⁵. Al respecto del término **anisotropía** según la Real Academia de la Lengua Española, se define como:

“Dicho de una sustancia o de un cuerpo: Que posee propiedades físicas distintas según la dirección en que se mide.”⁹⁶

La anisotropía en este caso hace referencia al crecimiento de una hoja húmeda, la cual experimenta un incremento de tamaño a causa de la introducción de moléculas de agua y que producen un engrosamiento de las fibras. Siguiendo este razonamiento, cuando las moléculas abandonan la hoja, dichas fibras deberían recuperar su tamaño original y por ende la hoja también. No obstante, esto no explica porque algunas hojas se acortan cuando se secan.⁹⁷

Esta contracción del papel durante el alisado es un fenómeno complejo ya que se debe al modo en que fue fabricado. Concretamente, en el papel industrial el motivo de esta contracción de la hoja alisada es la tensión introducida en el papel durante su fabricación en las máquinas Fourdrinier⁹⁸. Esta tensión interna provoca la contracción de la hoja en el sentido de su fabricación. En condiciones normales, los puentes de hidrogeno y las colas incorporadas al papel evitan que se contraiga. Sin embargo, cuando se humedece la hoja y los puentes de hidrogeno se relajan, la tensión se libera y se contrae la hoja.

Las siglas MD (*Ilustración 20*) (*machine direction* – dirección en la que discurre el papel durante su fabricación) y CD (*cross direction*- la dirección perpendicular a la anterior) son muy importantes ya que explican e identifican las direcciones de crecimiento (CD) y acortamiento (MD). En el papel industrial el acortamiento en la MD y el crecimiento en la CD es muy acentuado (*Ilustración 21*). Por un lado, las variaciones dimensionales que puede presentar una hoja nueva típica pueden alcanzar el +1% en CD y -0'5% en la MD. Y, por otro lado, estos valores disminuyen en hojas envejecidas naturalmente siendo de 0'8% y 0'3% respectivamente. Esta diferencia se debe a un fenómeno físico de nominado fluencia lenta (o *creep*)⁹⁹.

Este término se define como la acumulación de deformación a lo largo del tiempo debido a la presencia de una carga constante¹⁰⁰. Las hojas de papel experimentan variaciones durante su almacenamiento que pueden provocar problemas en tratamientos futuros. Las variaciones cíclicas en la humedad relativa del ambiente aceleran la fluencia lenta del papel, también conocido

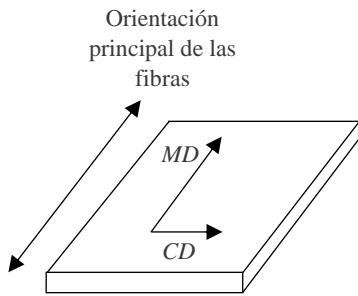


Ilustración 20. Esquema de dirección de la máquina (MD) y la dirección perpendicular (CD).



Ilustración 21. Papel en rollo en la sección de bobinado de una máquina de papel. La dirección de la máquina (MD) está alineada en paralelo con el movimiento de la banda a través de la máquina de papel. La dirección transversal (CD) está alineada en paralelo al carrete de cuerda. La dirección fuera del plano (ZD) es perpendicular al plano principal de la red formada por los vectores MD y CD.

Imagen extraída de BANIK, G; BRÜKLE, I. *Paper and water. A guide for Conservators*. Elsevier, 2011, p. 179.

⁹⁵ TESAURO DE ARTE & ARQUITECTURA [en línea] [Consultado el 18 de julio de 2020] Disponible en: <https://www.aatespanol.cl/terminos/300220157>

⁹⁶ Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. [en línea] [Consultado el 16 de junio de 2020] Disponible en: <https://dle.rae.es/anis%C3%B3tropo>

⁹⁷ MUÑOZ, S. *Anisotropía y creep. Recomendaciones para el alisado del papel*. 17th International Meeting on Heritage Conservation, 200, p 245.

⁹⁸ En la fabricación del papel con máquinas Fourdrinier el rollo de papel húmedo atraviesa los rodillos de secado a gran velocidad y seca mientras está siendo estirado hacia el extremo seco de la máquina, por lo que el papel resultante contiene una tensión interna.

⁹⁹ MUÑOZ, S. Op. cit.

¹⁰⁰ COFFIN, D. W. *The creep response of paper*. 13th Fundamental Research Symposium, Cambridge, 2005, p 651.

como *accelerated creep* o *mechano-sorptive creep*¹⁰¹. El envejecimiento natural del papel supone una exposición repetida a condiciones de humedad cambiantes. Estas alteraciones contribuyen a la disipación de la tensión interna que causa la contracción de las hojas en su MD y a la reducción de la higoexpansividad que causa la dilatación de la hoja en su CD¹⁰².

La problemática del cambio dimensional viene dada en parte por unas fuerzas que se producen durante la misma fabricación del papel. Estas fuerzas provocan un estrés interno que es el responsable de muchas características mecánicas del papel. La incorporación de humedad en papeles producidos industrialmente causa un desequilibrio interno y trae como consecuencia en algunos casos cambios dimensionales perceptibles del papel. Por otro lado, cuando el restaurador incorpora agua al papel se produce una liberación de dicho estrés interno y los enlaces interfibrilares se debilitan causando que el papel se relaje y se expanda en diferentes regiones de su estructura

¹⁰¹ La fluencia mecano absorbente, también conocida como 'fluencia lenta', es la deformación del papel cuando está sujeto a cambios repetidos en la HR ambiental. MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 184.

¹⁰² MUÑOZ, S. *Anisotropía y creep. Recomendaciones para el alisado del papel*. 17th International Meeting on Heritage Conservation, 200, p 246.

6. ESTUDIO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

Il y a trois principaux moyens d'acquisition de connaissances: l'observation de la nature, la réflexion et l'expérimentation. L'observation contient des faits; la réflexion les combine; l'expérimentation vérifie le résultat de cette combinaison¹⁰³.

Denis Diderot (1713-1784)

ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para evaluar la variación dimensional se llevó a cabo un conjunto de experimentos que consistieron en alisar en tensión unas láminas de unas dimensiones conocidas y volver a medirlas una vez finalizado el procedimiento. El objetivo principal es valorar la variación dimensional que se puede encontrar en papeles en una situación real de trabajo en un taller de conservación.

Adhesivos

En esta serie de experimentos, se usaron la metilhidroxietilcelulosa¹⁰⁴ (Tylose® MH 300 P¹⁰⁵) y el almidón (Tabla 2). El Tylose® MH 300 P, es un éter de celulosa^{106,107}, posee un grado de sustitución bajo y es resistente a aceites y a disolventes orgánicos. También es inocua y reversible. A continuación, se muestra una tabla con sus principales características.

Tabla 1 Características principales del Tylose® MH 300 P¹⁰⁸.

| Tylose® MH 300 P | |
|------------------|--------------------------|
| Tipo | Éter de celulosa |
| Composición | Metilhidroxietilcelulosa |
| pH | Neutro |
| Solubilidad | Soluble en agua fría |
| Aspecto | Polvo blanco |

¹⁰³DIDEROT, D. *Essai. Pensées philosophiques*, 1746, p 123.

¹⁰⁴ Descripción del producto en CTS. [en línea] [Consultado el 20 de septiembre de 2020] Disponible en: <https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=151>

¹⁰⁵ Véase *Ficha técnica* en Anexos, p 58.

¹⁰⁶ Los éteres de celulosa son compuestos derivados de la celulosa, obtenidos sustituyendo los grupos oxhidrilos de los carbonos 2, 3 y 6 por otros grupos funcionales. Los más habitualmente empleados son la carboximetilcelulosa de sodio (CMC) y la metilcelulosa (MC).

MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 169.

¹⁰⁷ Los éteres de celulosa, particularmente los que son solubles en agua, constituyen una clase de polímeros que han atraído un interés considerable para ciertas aplicaciones de conservación. Desafortunadamente, solo se dispone de información limitada sobre su potencial estabilidad térmica y fotoquímica a largo plazo. Además, existen muchas variedades de éteres de celulosa producidos comercialmente.

FELLER, R. L; WILT, M. *Evaluation of cellulose ethers for conservation*. The Getty Conservation Institute, 1993, p 3.

¹⁰⁸ Descripción del producto en CTS. [en línea] [Consultado el 20 de septiembre de 2020] Disponible en: <https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=151>



Ilustración 22. Almidón de trigo puro, Shoufu ®.

Imagen extraída de:
https://tienda.arteymemoria.com/es/adhesivos-pegamentos-y-consolidantes/191-almidon-de-trigo-shoufu.html?search_query=almidon&results=26

El almidón (Ilustración 22) (Tabla 2) es una sustancia que se encuentra en los vegetales. Es un compuesto químico muy similar a la celulosa. Se puede preparar de diversas formas. La más sencilla consiste en mezclar aproximadamente 200 gramos de almidón en un litro de agua caliente (60/80 °C) y remover durante veinte o treinta minutos hasta que se haya diluido y espesado completamente. El agua debe estar caliente en todo momento. Para mejorar la calidad del adhesivo se puede filtrar la pasta resultante a través de un tamiz.

El almidón es un adhesivo más fuerte que la CMC o la MC. Sin embargo, los almidones se pudren rápidamente en un plazo de tres o cuatro días suele ser necesario preparar más almidón. Esto se convierte en un inconveniente si se debe realizar un gran número de probetas¹⁰⁹. El almidón que se utilizó en este estudio posee un alto grado de pureza y, al igual que el Tylose ® MH 300 P, también es muy reversible.

Tabla 2. Características principales del Almidón de trigo puro Shoufu ®¹¹⁰.

| Almidón de trigo puro Shoufu ® | |
|--------------------------------|--|
| Tipo | Almidón de trigo puro. |
| Composición | Macromoléculas compuestas por amilosa y amilopectina |
| pH | Neutro |
| Solubilidad | Insoluble en agua fría |
| Aspecto | Polvo blanco |

Papeles

Para las probetas se eligieron principalmente papeles hechos a máquina nuevos y de fácil acceso. Cada uno de los papeles tiene características y tamaños diferentes.

Antes de empezar a realizar pruebas, se cortaron todas las hojas al tamaño estándar de A3 (420 × 297 mm) con un grado de precisión de ±1 mm (exceptuando el papel Bond que ya venía pre-cortado al tamaño deseado). Por otro lado, para seleccionar de manera más precisa el tipo de papel que se iba a utilizar en el ensayo, se realizaron pruebas previas con otro tipo de papeles y ambos adhesivos (Tabla 3).

Tabla 3. Características de papeles.

| Tipo | Gramaje (gr/m ²) | Dimensiones (cm) |
|----------------------|------------------------------|------------------|
| Estraza blanco | 80 | 100 × 70 |
| Barrera Canson | 80 | 120 × 80 |
| Bond | 80 | 42 × 29,7 |
| Torreón Blanco | 90 | 100 × 70 |
| Caballo 109 satinado | 250 | 100 × 70 |

¹⁰⁹ MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, pp 169 – 170

¹¹⁰ Almidón *Jin Shoufu* para la fabricación de pasta tradicional japonesa de almidón de trigo refinado dos veces. Es de alta calidad, sin gluten y está importado directamente de Japón. [en línea] [Consultado el 1 de octubre de 2020] Disponible en: <http://tienda.arteymemoria.com/es/adhesivos-pegamentos-y-consolidantes/191-almidon-de-trigo-shoufu.html#>



Ilustración 23. Papel Bond típico.

Imagen extraída de:
<https://www.limawell.edu.pe/importacion-papel-bond-aspectos/>



Ilustración 24. Papel Torreón.

Imagen extraída de:
<https://totenart.com/torreon-90-gr-70x100-cm-blanco-nat>



Ilustración 25. Papel Barrera Canson.

Imagen extraída de:
<https://www.conservacionyrestauracion.cl/papel-libre-de-acido/218-papel-barrera-canson-80gr.html>

A continuación, se muestran unas breves caracterizaciones de los papeles (Tablas 4, 5 y 6) que finalmente se utilizaron en este estudio.

Tabla 4. Papel Bond.

| Papel Bond (Ilustración 22) | |
|-------------------------------|--|
| Dimensiones originales (cm) | 42 × 29'7 |
| Gramaje | 80 gr/m ² |
| Características ópticas | Papel típico de impresión. De color blanco, con gran resistencia. No presenta marca de agua. |
| Cociente de higroexpansividad | ± 1'5 mm |

Tabla 5. Papel Torreón.

| Papel Torreón (Ilustración 23) | |
|--------------------------------|---|
| Dimensiones originales (cm) | 100 × 70 |
| Gramaje | 90 gr/m ² |
| Características ópticas | Papel blanco verjurado. Presenta marca de agua. |
| Cociente de higroexpansividad | ± 3'5 mm |

Tabla 6. Papel Barrera Canson.

| Papel Barrera Canson (Ilustración 24) | |
|---------------------------------------|---|
| Dimensiones originales (cm) | 120 × 80 |
| Gramaje | 80 gr/m ² |
| Características ópticas | Papel muy blanco, libre de ácidos. No presenta marca de agua. |
| Cociente de higroexpansividad | ± 2'5 mm |

Superficie

Para el experimento se barajaron diferentes superficies que se pueden encontrar en cualquier taller de conservación y restauración de obra gráfica y documental. Finalmente, se utilizó melamina lisa. Este tipo de superficie es producto de un compuesto orgánico que al combinarse con formaldehído produce la resina de melamina, un polímero sintético que es resistente a las altas temperaturas. Por lo general es una resina dura, rígida y con buena resistencia a la abrasión. Este material es resistente a solventes orgánicos, grasas y aceites, así como algunos ácidos y bases débiles¹¹¹.

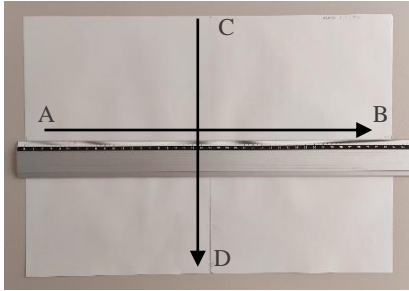
Sistemas de adhesión

Los sistemas de adhesión del desarrollo experimental consistieron en fijar las hojas a una melamina lisa mientras aún se encontraban húmedas. La sucesiva pérdida de agua conlleva una contracción del papel. Por lo tanto, como su zona perimetral se encuentra fijada de determinada forma a una estructura inmóvil, este acortamiento producirá un tensado de la hoja, alisándola¹¹². Se dividió en tres grupos de pruebas, que corresponden a los sistemas de alisado en tensión; a) adhesión total, b) adhesión perimetral y c) laminación.

¹¹¹ RESINA DE MELAMINA. [en línea] [Consultado el 1 de octubre de 2020] Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/2018/03/05/resina-de-melamina/>

¹¹² PERELLÓ, A. *Restauración de cartel de siglo XX*. [Trabajo Final de Grado] 2013-2014. Universidad Politécnica de Valencia.

DESARROLLO EXPERIMENTAL



Esquema 1. Esquema del trazado de líneas de referencia en las probetas.

La experimentación se llevó a cabo en condiciones normales de humedad relativa y temperatura de laboratorio, por lo que la temperatura durante todo el desarrollo experimental osciló entre 24 °C y 21 °C, mientras que la humedad relativa varió entre 68 % y 50 % (exceptuando un pico drástico a mitad gráfica causa de una ola de frío) (Ilustración 26).

El siguiente paso fue medir las hojas y establecer puntos en la superficie de las láminas con el fin de garantizar una correcta referencia para la medición en posteriores ocasiones (Esquema 1)¹¹³.

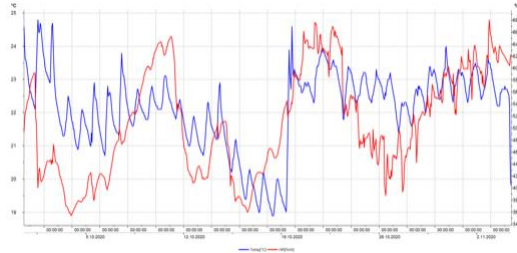


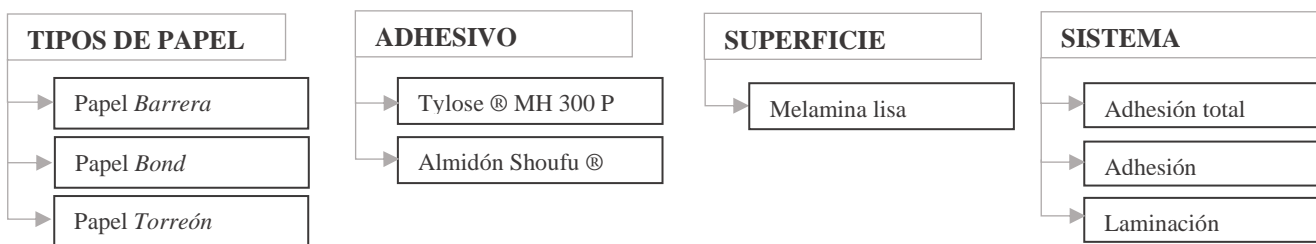
Ilustración 26. Mediciones de HR y temperatura durante el desarrollo experimental.



Ilustración 27. Proceso de inmersión de una lámina.

La humectación se realizó dejando que las hojas flotaran durante cinco minutos aproximadamente, tras lo que se sumergieron totalmente en el agua (Ilustración 27). Como soporte durante la inmersión se utilizó una lámina de Hollytex®¹¹⁴ de 17 gr / m². Todas las probetas se mantuvieron en agua durante una hora, un tiempo representativo en la práctica de un caso real, y a temperatura ambiente. Tras la inmersión, se tomaron las medidas siguiendo las referencias marcadas en cada una de las láminas. Para garantizar la reproducibilidad, cada experimento se repitió tres veces.

Para comprender como se han dividido las posteriores fases del trabajo, se ha realizado un esquema (Esquema 2) que ilustra de manera más sencilla todos los procedimientos que se llevaron a cabo.



Esquema 2. Esquema del procedimiento del desarrollo experimental.

¹¹³ MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 184.

¹¹⁴ Es una lámina de filamentos de poliéster y tiene una alta resistencia a la tracción y al desgarro. Se considera un soporte para la micro-filtración, ultrafiltración y osmosis inversa. Este material aprobado por la FDA no contiene resinas y tiene una buena resistencia química, especialmente en ácidos, agentes oxidantes y solventes. Resiste temperaturas hasta los 350 °F y mantiene una buena estabilidad dimensional y resistencia a la pudrición y el moho.

[en línea] [Consultado el 18 de septiembre de 2020] Disponible en: <https://www.barna-art.com/lascaux-productos-de-conservacion/lamina-para-conservacion-de-papel-hollytex-rollo-de-25-m>

En primer lugar, se realizaron unas pruebas con Tylose ® MH 300 P¹¹⁵. Tras las pruebas, se eligió una formulación de 15 gr / 250 ml, mientras que, en el caso del Almidón¹¹⁶, se utilizaron 10 gr / 750 ml. La preparación de este último adhesivo se hizo mezclando 10 gr de almidón en 750 ml de agua caliente al baño maría¹¹⁷ (aproximadamente entre 60-80°C) y removiendo hasta su completa disolución y espesado. Por otro lado, para mejorar la calidad del adhesivo se puede filtrar la pasta resultante a través de un tamiz¹¹⁸. Sin embargo, dada la pureza y calidad del almidón que se empleó en este trabajo, esto no fue necesario.

¹¹⁵ Véase *Tablas de testado de adhesivos* en Anexos, p 59.

¹¹⁶ Véase *Tablas de testado de adhesivos* en Anexos, p 60.

¹¹⁷ Se debe mantener el agua caliente durante todo el proceso de preparación.

MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos, 2010, p 170.

¹¹⁸ *Ibid.*

Alisado en tensión en láminas industriales

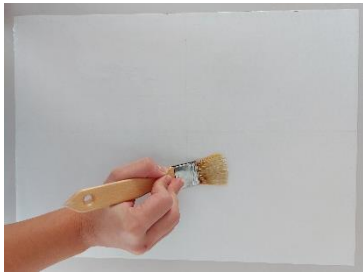
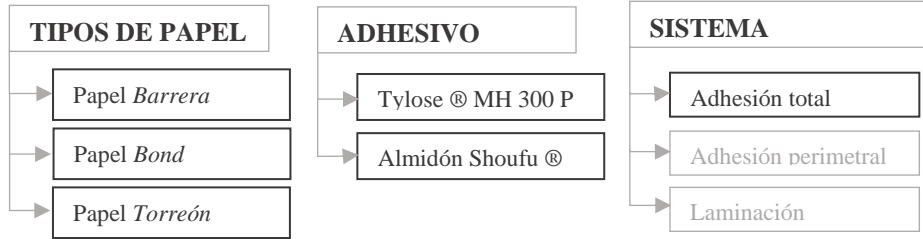


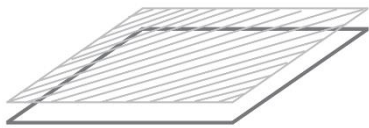
Ilustración 28. Proceso de aplicación de adhesivo en toda la superficie de la lámina para la adhesión total.



Esquema 3. Esquema del primer grupo de experimentos

Se comenzó la experimentación con el grupo de pruebas **a) adhesión total**. Se aplicó una capa lo más homogénea posible de Tylose ® MH 300 P y Almidón en toda la superficie de la parte del reverso de la lámina empleando una brocha de pelo fino y suave (Esquema 4) (Ilustración 28).

Una vez aplicado el adhesivo se procedió a darle la vuelta a la hoja con la ayuda de una varilla de madera de pino cepillada¹¹⁹ y un palillo de bambú plano (Ilustración 29), y se fijó el papel dejando caer una esquina lentamente y generando muy poco ángulo entre el papel y la superficie para que no se generasen bolsas de aire (Ilustración 30). Por último, se dejaron secar durante 48 horas, se separaron de la superficie y se tomaron las medidas de nuevo siguiendo las referencias marcadas, bajo condiciones de humedad y temperatura controladas. Después, de todo el proceso todas las láminas tenían sus dimensiones alteradas. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 7).



Esquema 4. Esquema del sistema de adhesión total (el cuadrado gris representa la hoja, el cuadrado de líneas el adhesivo).



Ilustración 29. Proceso de darle la vuelta a la lámina con la ayuda del palillo de bambú plano.

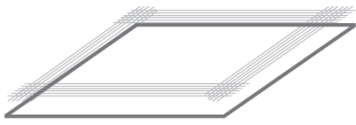
Tabla 7. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión total.

| Papel | Adhesivo | Dimensiones originales (mm) | Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por <u>adhesión total</u> | | | | | | | |
|---------|----------|-----------------------------|--|----|-----------|-----|-----------|----|--------------|-----|
| | | | Absolutos (mm) | | | | | | Promedio (%) | |
| | | | Probeta 1 | | Probeta 2 | | Probeta 3 | | | |
| | | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Barrera | Tylose | 420 × 295 | 0 | 10 | -1 | -11 | -1 | 10 | -0'2 | 2,5 |
| Barrera | Almidón | 420 × 296 | -2 | 7 | -1 | 11 | -1 | 12 | -0'5 | 1'5 |
| Bond | Tylose | 420 × 297 | -2 | 3 | -1 | 9 | -1 | 6 | -0'4 | 1'4 |
| Bond | Almidón | 420 × 297 | -1 | 5 | -2 | 9 | -2 | 5 | -0'6 | 1'5 |
| Torreón | Tylose | 296 × 419 | 0 | 10 | 0 | 10 | -1 | 9 | -0'1 | 3'3 |
| Torreón | Almidón | 297 × 419 | -3 | 3 | -2 | 9 | -2 | 9 | -0'6 | 2'4 |

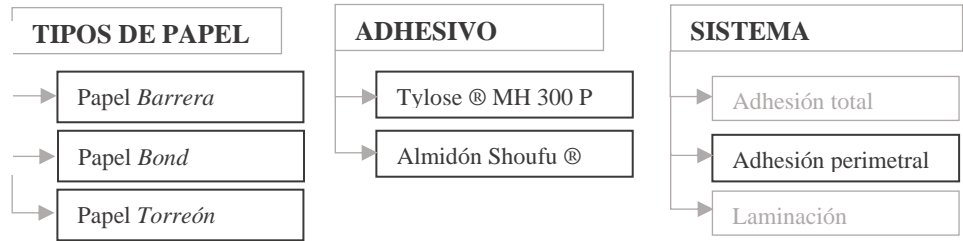


Ilustración 30. Proceso de fijación del papel a la melamina lisa tratando de no generar bolsas de aire.

¹¹⁹ Esta varilla de madera se utilizó como una herramienta de refuerzo en la extracción de las hojas tras la inmersión, ya que ofrece un punto de apoyo mayor que si se extrajesen sólo con las manos o mediante la ayuda de una hoja de refuerzo como un Hollytex ®. [en línea] [Consultado el 2 de octubre de 2020] Disponible en: <https://www.leroymerlin.es/fp/17375302/varilla-de-pino-cepillado-sin-nudos-de-22x22mm-x-2-m>



Esquema 5. Esquema del sistema de adhesión perimetral (el cuadrado gris representa la hoja y el perímetro de líneas el adhesivo).



Esquema 6. Esquema del segundo grupo de experimentos.



Ilustración 31. Proceso de colocación de la lámina sobre la melamina lisa con ayuda de un Reemay®.



Ilustración 32. Proceso de aplicación del adhesivo en el perímetro de una lámina para una adhesión perimetral.

A continuación, se procedió con el segundo grupo de pruebas, **b) adhesión perimetral** (Esquema 5). Tras la extracción de la lámina de la cubeta, se colocó la lámina mediante la ayuda de la hoja de refuerzo que se había utilizado como soporte, sobre la melamina lisa (Ilustración 31). Se aplicó una capa de aproximadamente 1 cm de cada adhesivo en el perímetro de cada una de las láminas (Ilustración 32). Una vez aplicado el adhesivo se le dio la vuelta a la hoja con la ayuda de la varilla de madera de pino cepillada. Se fijaron a la superficie deseada tratando de nuevo de sacar las posibles burbujas de aire que se hubiesen podido generar durante el proceso.

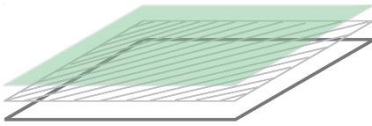
Por último, se dejaron secar durante 48 horas (Ilustración 33), se retiraron de la superficie y se tomaron las medidas de nuevo siguiendo las referencias previamente marcadas. Tras el proceso de alisado todas las láminas tenían dimensiones diferentes. Los datos obtenidos se reflejan en la siguiente tabla (Tabla 8).

Tabla 8. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión perimetral.

| Papel | Adhesivo | Dimensiones originales (mm) | Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por <u>adhesión perimetral</u> | | | | | | | |
|---------|----------|-----------------------------|---|----|-----------|----|-----------|----|--------------|-----|
| | | | Absolutos (mm) | | | | | | Promedio (%) | |
| | | | Probeta 1 | | Probeta 2 | | Probeta 3 | | | |
| | | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Barrera | Tylose | 419 × 296 | -1 | 9 | -1 | 9 | -1 | 11 | -0'3 | 2'3 |
| Barrera | Almidón | 419 × 296 | -1 | 7 | -2 | 7 | -1 | 9 | -0'5 | 1'8 |
| Bond | Tylose | 420 × 297 | -1 | 8 | -1 | 1 | -2 | 7 | -0'4 | 1'3 |
| Bond | Almidón | 420 × 297 | -2 | 5 | -2 | 6 | -2 | 5 | -0'7 | 1'3 |
| Torreón | Tylose | 296 × 418 | -1 | 9 | -1 | 8 | -1 | 9 | -0'2 | 2'9 |
| Torreón | Almidón | 296 × 418 | -4 | 9 | -3 | 8 | -2 | 9 | -0'7 | 2'9 |



Ilustración 33. Imagen de una lámina de papel Bond en proceso de secado.



Esquema 7. Esquema del sistema de laminación (el cuadrado gris representa la hoja, el cuadrado azul translucido el papel japonés).



Esquema 8. Esquema del tercer grupo de experimentos.



Ilustración 34. Proceso de aplicación del papel japonés para laminar la hoja de prueba.



Ilustración 35. Proceso de laminación de una hoja.

Para finalizar se realizó el tercer conjunto de pruebas **c) laminación** (Esquema 7). De igual forma que en el resto de ensayos, se extrajeron las láminas de la cubeta y se depositaron sobre la superficie de la melamina lisa.

Este procedimiento consistió en la aplicación de una lámina entera de papel japonés¹²⁰ de 9 gr/m² que cubrió la totalidad de la superficie de la hoja. Primero se aplicó el adhesivo mediante brocha en la superficie de las probetas y la lámina de refuerzo se adhirió colocándola sobre las hojas de ensayo (Ilustración 34-35). El conjunto se dejó secar, se retiró de la melamina lisa y por tracción se eliminó el papel japonés adherido (Ilustración 36).

Por último, se tomaron las medidas siguiendo las referencias una vez seco todo el conjunto. Tras el proceso de alisado mediante el sistema de laminación, de nuevo, las láminas tenían dimensiones diferentes. Los datos obtenidos se reflejan en la siguiente tabla (Tabla 9).

Tabla 9. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por laminación.

| Papel | Adhesivo | Dimensiones originales (mm) | Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por <u>laminación</u> | | | | | | | |
|----------------|----------|-----------------------------|--|----|-----------|----|-----------|----|--------------|-----|
| | | | Absolutos (mm) | | | | | | Promedio (%) | |
| | | | Probeta 1 | | Probeta 2 | | Probeta 3 | | | |
| | | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| <i>Barrera</i> | Tylose | 296 × 420 | -1 | 9 | -2 | 8 | -1 | 8 | -0'5 | 2 |
| <i>Barrera</i> | Almidón | 296 × 419 | 0 | 11 | -1 | 5 | -1 | 6 | -0'2 | 1'8 |
| <i>Bond</i> | Tylose | 297 × 420 | -1 | 4 | -2 | 5 | -1 | 6 | -0'4 | 1'2 |
| <i>Bond</i> | Almidón | 297 × 420 | -2 | 5 | -2 | 4 | -1 | 5 | -0'6 | 1'1 |
| <i>Torreón</i> | Tylose | 419 × 296 | -2 | 8 | -1 | 9 | -1 | 9 | -0'3 | 2'9 |
| <i>Torreón</i> | Almidón | 419 × 296 | -2 | 9 | -1 | 9 | -2 | 6 | -0'4 | 2'7 |



Ilustración 36. Proceso de eliminación por tracción del papel japonés adherido tras la laminación.

¹²⁰ PAPEL JAPONÉS ART. 502 TENGUJO KASHMIR. Se trata de un papel compuesto 100% de manila. [Consultado el 10 de octubre de 2020] Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/522-papel-japones-art-502-tengujo-kashmir>

PRUEBAS COMPLEMENTARIAS

Con el objetivo de profundizar y completar lo máximo posible este estudio, se han realizado diferentes experimentos en distintos tipos de papeles. Los tres ensayos que se han realizado se diferencian con los grupos de experimentos descritos anteriormente por el sistema de alisado empleado, el tipo de papel o bien su antigüedad.

Alisado en tensión en láminas industriales

Canson Guarro Basik

En el primer caso particular, se ha realizado un alisado en tensión por adhesión total de un papel *Canson-Guarro Basik*. Se trata de un papel con un gramaje muy superior al del resto de papeles analizados (*Tabla 10*). Este experimento se realizó con el fin de comparar los resultados obtenidos en este estudio con los que se obtuvieron en: *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*¹²¹. Con el objetivo de comparar resultados según la técnica de alisado, se escogieron los mismos tipos de papeles.

Tabla 10. Papel *Canson-Guarro 'Basik'*.

| Papel <i>Canson-Guarro 'Basik'</i> | |
|------------------------------------|---|
| Dimensiones originales (mm) | 420 × 297 |
| Gramaje | 130 gr/m ² |
| Características ópticas | Color blanco con grano fino, sin brillo y ligeramente satinado. |
| Cociente de higr expansividad | ± 2'5 mm |

Se procedió como en las operaciones descritas anteriormente. Se realizó una adhesión total con Almidón Shoufu ®. Por último, se dejaron secar durante 48 horas, se retiraron de la superficie y se tomaron las medidas siguiendo las referencias previamente marcadas. Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en la siguiente tabla (*Tabla 11*).

Tabla 11. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión total.

| Papel | Dimensiones originales (mm) | Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por <u>adhesión total</u> | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------|--|----|-----------|----|-----------|----|--------------|------|
| | | Absolutos (mm) | | | | | | Promedio (%) | |
| | | Probeta 1 | | Probeta 2 | | Probeta 3 | | Promedio (%) | |
| | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| <i>Basik</i> | 297 × 420 | -5 | 8 | -3 | 4 | -3 | 4 | -0'37 | 0'53 |

¹²¹ En este artículo se realiza una experimentación sobre alisados con diferentes presiones.

MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, pp 184-190.

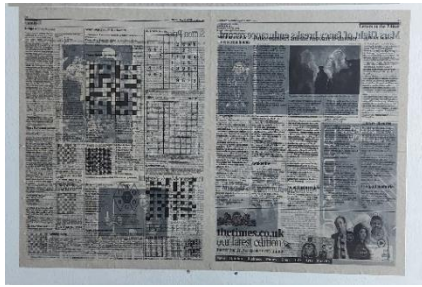


Ilustración 37. Imagen de una lámina de papel de periódico común en proceso de secado por adhesión total.

Papel de periódico

En este caso concreto se procedió a realizar un alisado en tensión a una hoja de periódico común del año 2011 procedente del Reino Unido (Tabla 12). Se caracteriza por ser un papel con poco brillo, fino, flexible y extremadamente higroscópico.

Tabla 12. Papel de periódico común.

| Papel de periódico común | |
|-------------------------------|--|
| Dimensiones originales (mm) | 365 × 570 |
| Gramaje | 50 gr/m ² |
| Características ópticas | Papel típico de impresión de prensa. De color ligeramente grisáceo. |
| Cociente de higroexpansividad | ± 8,5 mm |



Ilustración 38. Imagen de detalle de una lámina de papel de periódico común en proceso de secado.

El adhesivo que se utilizó fue el Almidón Shoufu®. Por otro lado, con el fin de comparar el impacto del alisado sobre el tipo de papel se realizó un alisado en tensión con adhesión total, siguiendo las mismas operaciones descritas en el primero grupo de experimentos y se realizó sobre la misma base de melamina lisa que en el resto de pruebas (Ilustración 37-38). Los resultados obtenidos se muestran a continuación (Tabla 13).

Tabla 13. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión total.

| Superficie | Dimensiones originales (mm) | Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por <u>adhesión total</u> | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|--|----|-----------|----|-----------|----|--------------|----|
| | | Absolutos (mm) | | | | | | Promedio (%) | |
| | | Probeta 1 | | Probeta 2 | | Probeta 3 | | | |
| | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Melamina | 365 × 570 | -3 | 14 | -5 | 15 | -4 | 14 | -4 | 14 |

Láminas envejecidas naturalmente

Para evaluar el impacto del alisado en tensión en papel hecho a máquina envejecido naturalmente, se llevó a cabo un nuevo conjunto de experimentos¹²². Estos experimentos fueron similares a los descritos anteriormente, con la única excepción que el tipo de papel databa de 1899 (*Ilustración 39*) (*Tabla 14*).

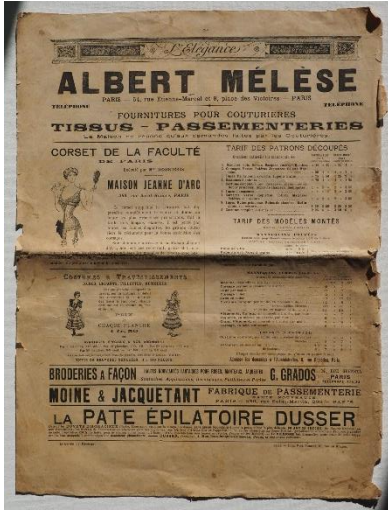


Ilustración 39. Portada de la revista francesa de 1899.

Tabla 14. Papel de revista francesa de 1899.

| Revista francesa de 1899 | |
|-------------------------------|--|
| Dimensiones originales (mm) | 315 × 420 |
| Gramaje | 50 gr/m ² |
| Características ópticas | Amarilleamiento acusado, bordes irregulares. Ligeramente satinado. |
| Cociente de higr expansividad | ± 2'3 mm |

Al igual que en el resto de experimentos, para realizar la adhesión total se procedió de la misma forma. Las hojas se midieron y se humectaron siguiendo el mismo procedimiento que en el primer grupo de experimentos. Tras la inmersión (*Ilustración 40-41*) y con el fin de comparar resultados se realizó una adhesión total con Tylose ® MH 300 P y otra con Almidón Shoufu®, cuando se secó, se despegaron y se volvieron a medir las hojas (*Ilustración 42*).



Ilustración 40. Proceso de inmersión de una lámina de la revista francesa de 1899.

Tabla 15. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por laminación en la revista francesa de 1899.

| Adhesivo | Dimensiones originales (mm) | Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por <u>adhesión total</u> | | | | | | | |
|----------|-----------------------------|--|----|-----------|----|-----------|----|--------------|-----|
| | | Absolutos (mm) | | | | | | Promedio (%) | |
| | | Muestra 1 | | Muestra 2 | | Muestra 3 | | Promedio (%) | |
| | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Almidón | 315 × 420 | 0 | 5 | 1 | 5 | 0 | 3 | 0'06 | 1'4 |
| Tylose | 315 × 420 | 2 | 5 | 0 | 5 | 1 | 4 | 0'2 | 1'5 |



Ilustración 41. Proceso de adhesión de las láminas de la revista francesa de 1899.



Ilustración 42. Fotografía final tras la adhesión total de una hoja de revista francesa de 1899.

¹²² MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 189.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

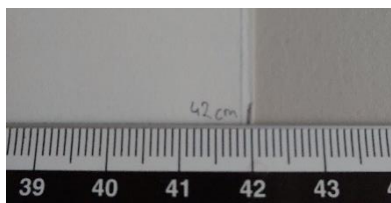


Ilustración 43. Medición inicial de la CD de una lámina de papel Barrera.

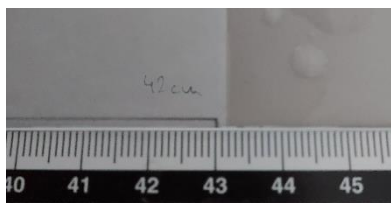


Ilustración 44. Medición de la CD tras la inmersión de una lámina de papel Barrera.

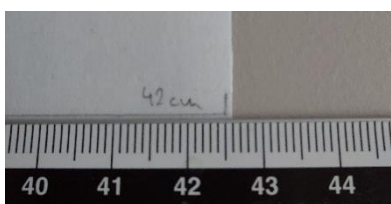


Ilustración 45. Medición final de la CD de una lámina de papel Barrera alisada en tensión por adhesión total.

Estos experimentos muestran que los procedimientos comunes de alisado en tensión alteran las dimensiones originales del papel (Ilustración 43-45). Tras un tratamiento que implicaba humectación y tensión, las hojas hechas a máquina eran más grandes en el CD de lo que eran originalmente. Y, en el MD, las hojas eran más cortas que antes del tratamiento. La orientación de fibra explica por qué los papeles hechos a máquina tienen diferentes higr expansividades en cada dimensión plana, y, por lo tanto, la expansión no es la misma en ambas direcciones¹²³.

En primer lugar, tras el proceso de alisado en tensión por **adhesión total**, las dimensiones de las hojas fueron notablemente diferentes de las originales. Los datos mostrados a continuación se corresponden con el promedio del porcentaje de los resultados de las tres muestras de papel en valores absolutos. Utilizando el adhesivo Tylose, las hojas de papel *Barrera Canson* terminaron siendo 2'5 % más largas en el CD y 0'2 % más cortas en MD que en inicio; mientras que las hojas de papel *Bond* terminaron siendo 1'4 % más largas en CD y 0'4% más cortas en el MD de lo que originariamente eran. Por último, el papel *Torreón*¹²⁴ terminó 3'3 % más largo en CD y 0'1 % más corto de lo que originalmente era en MD. Utilizando el adhesivo Almidón Shoufu ® los resultados no distaban mucho de los obtenidos con el primer adhesivo. El papel *Barrera Canson* acabó siendo 2'4 % más largo en CD y 0'5 % más corto en MD, mientras que las hojas de papel *Bond* terminaron siendo 1'5 % más largas en CD y 0'6 % más cortas en MD. Finalmente, el papel *Torreón* midió 2'4 % más en CD y 0'6 % menos en MD.

En segundo lugar, las diferencias dimensionales también se manifestaron notablemente en el proceso de alisado en tensión por **adhesión perimetral**, utilizando el adhesivo Tylose, el papel *Barrera Canson* terminó siendo 2'3 % más largo en CD y 0'3 % más cortas en MD; mientras que en el caso del papel *Bond* acabó siendo 1'3 % más largo en CD y 0'4 % más corto. Por otro lado, el papel *Torreón* incrementó 2'9 % en CD mientras que disminuyó 0'2 % en MD. Usando almidón, el papel *Barrera Canson* midió 1'8 % más en CD y 0'5 % menos en MD, el papel *Bond* en su CD incrementó 1'3 % y disminuyó 0'7 % en CD; y el papel *Torreón* acabó 2'9 % más largo en CD y 0'7 % menos en MD.

En tercer lugar, las variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por **laminación** también son notables. Comenzando con los experimentos en los que se utilizó Tylose, el papel *Barrera Canson* aumentó 2 % en CD y disminuyó 0'5 % en MD; respecto al papel *Bond* se alargó 1'2 % en CD mientras que se acortó 0'4 % en MD. El papel *Torreón* terminó siendo 2'9 % más largo en CD y 0'3 % más corto en MD. Tras la experimentación con almidón, el papel *Barrera Canson* resultó 1'8 % más largo en CD, pero 0'2 % más corto en MD que en inicio. El papel *Bond* aumentó 1'1 % en CD mientras que disminuyó 0'6 % en MD, y, por último, el papel *Torreón* terminó siendo 2'7 % más largo en CD y 0'4 % más corto en MD que originalmente.

Tras este análisis de los datos obtenidos se puede decir que en promedio y en orden descendente, los papeles *Barrera Canson* y *Torreón* fueron en los que más se incrementó la variación dimensional en su CD. Por otro lado, el papel

¹²³ MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 192.

¹²⁴ En los datos obtenidos en el papel *Torreón* los resultados están invertidos, la MD se corresponde con el lado más corto del papel y la CD con el lado más largo. Esto es debido al sentido de corte preferente del papel.

Bond fue el que menor variación sufrió. Los resultados se muestran en las siguientes gráficas¹²⁵ (Tabla 16-17).

Tabla 16. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD).

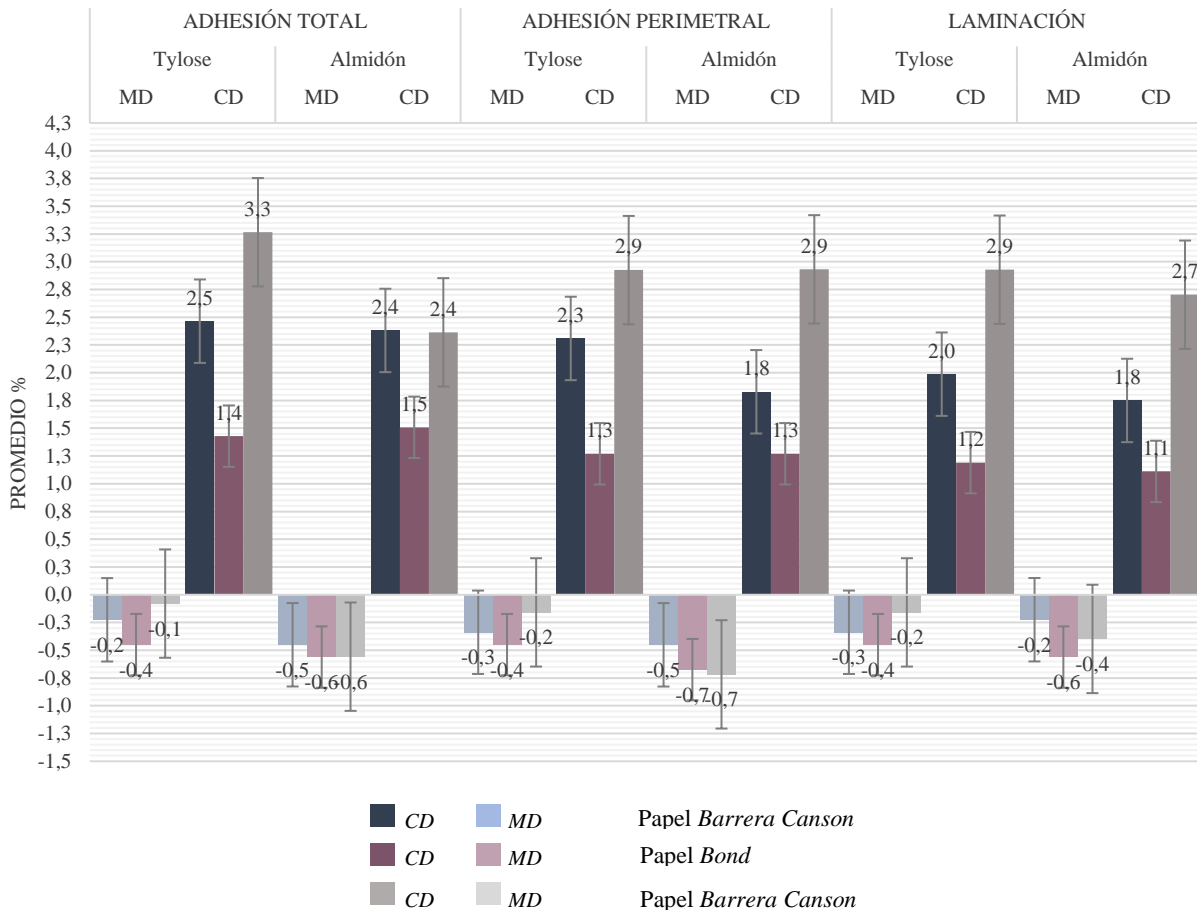
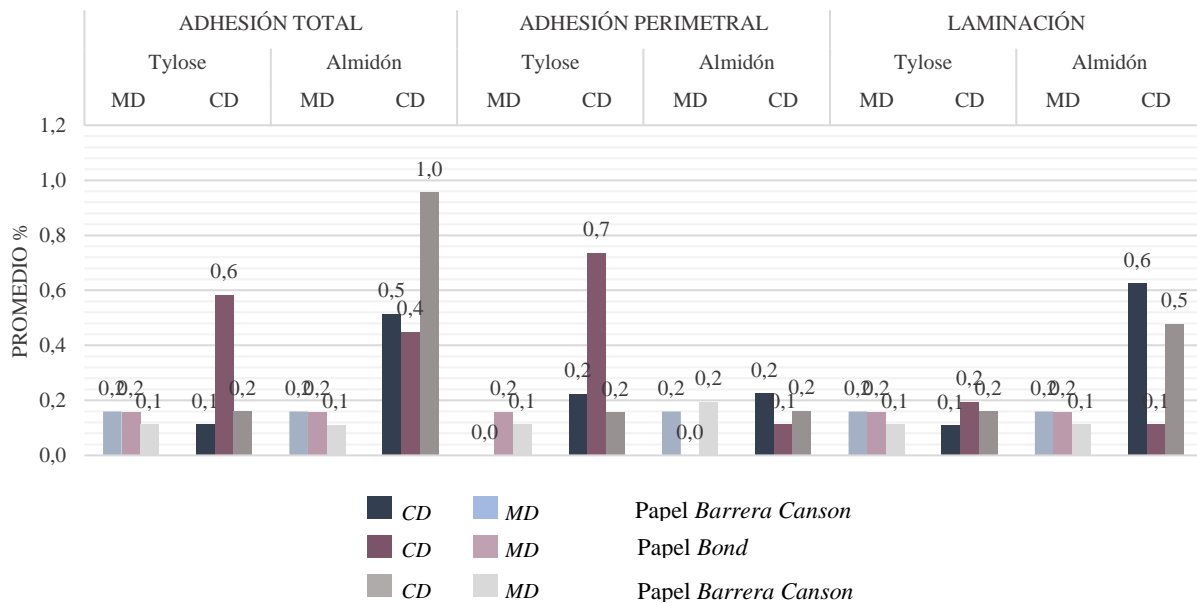


Tabla 17. Desviación estadística de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD).



¹²⁵ Véase Tablas de resultados en Anexos, pp 61-62.

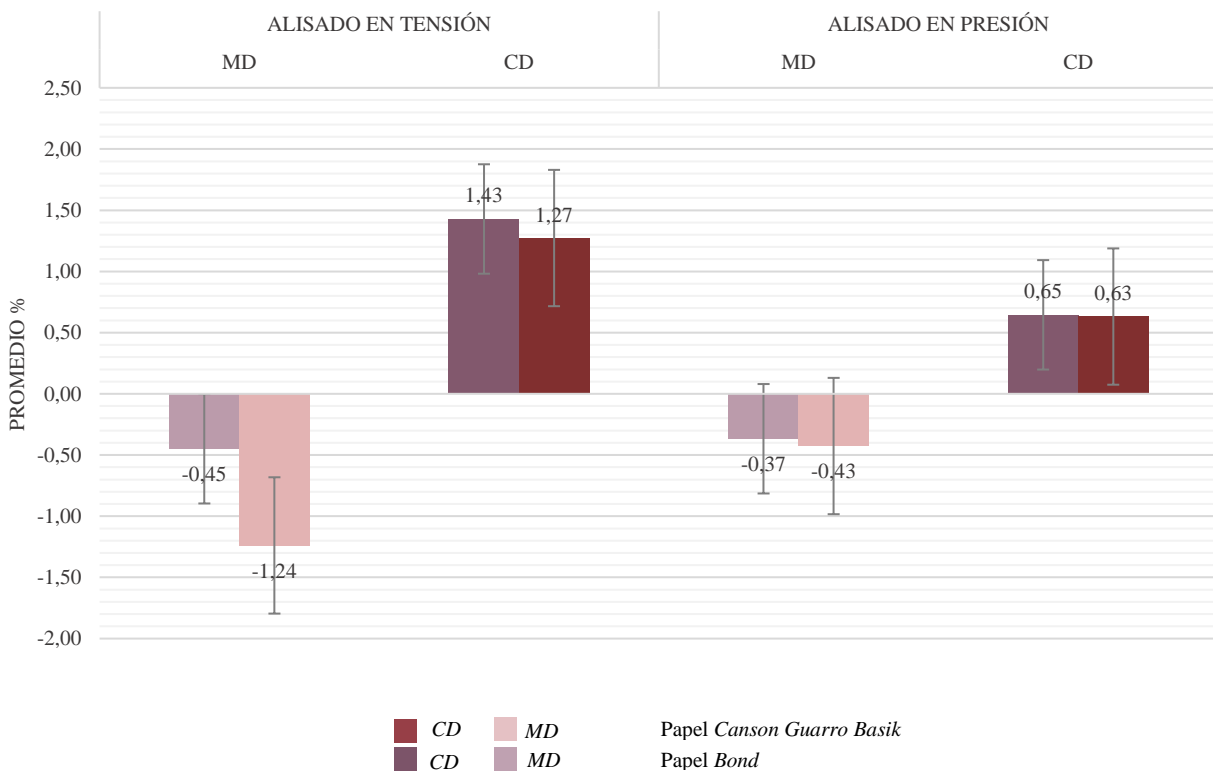
Respecto al conjunto de experimentos, que se realizaron con el fin de comparar los resultados obtenidos de los alisados en tensión y en presión, se puede decir que tras el método que emplea tensión, el papel *Bond* terminó siendo 1'43 % más largo en CD y 0'45 % más corto en su MD que en inicio; mientras que el papel *Canson Guarro Basik* aumentó su tamaño 1'27 % en CD y decreció 1'24 % en MD.

Por otro lado, tras los alisados en presión realizados en el artículo: *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*, se puede decir que los resultados entre ambos papeles son muy similares. El papel *Bond* incrementó su tamaño 0'65 % en CD y decreció en MD 0'37 %; mientras que en el caso del *Canson Guarro Basik*, las hojas terminaron siendo 0'63 % más largas en CD y 0'43 % más cortas en MD. Todos estos datos se encuentran reflejados en (Tablas 18-19)¹²⁶

Tabla 18. Promedio de los resultados de los alisados en presión y tensión de los papeles *Bond* y *Canson-Guarro Basik*

| Papel | Promedio presión (%) | | Promedio tensión (%) | |
|--------------|----------------------|------|----------------------|------|
| | MD | CD | MD | CD |
| <i>Bond</i> | -0'37 | 0'65 | -0'45 | 1'43 |
| <i>Basik</i> | -0'43 | 0'63 | -1'24 | 1'27 |

Tabla 19. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD) entre los papeles *Bond* y *Canson-Guarro Basik*, con un sistema de alisado en presión y en tensión



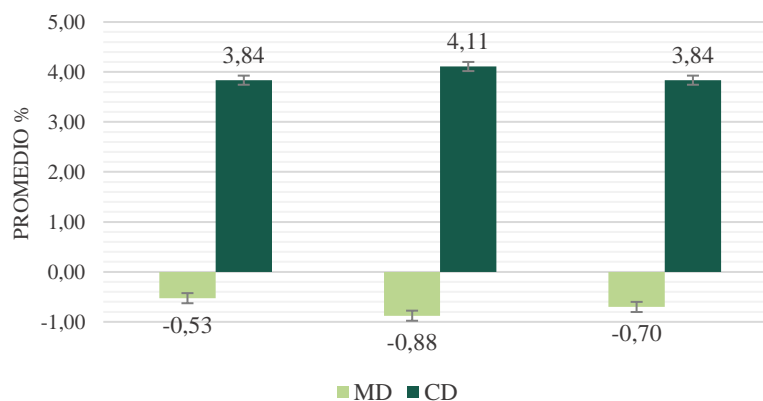
¹²⁶ Véase Tablas de resultados en Anexos, p 63.

Por otro lado, en relación con los experimentos realizados al papel de *periódico común* se podría decir que es el papel que experimentó mayor variación dimensional. Tras el alisado en tensión por adhesión total, las hojas de muestra eran 3'93 % más largas en CD que originalmente y 0'7 % más cortas en MD (Tablas 20-21)¹²⁷.

Tabla 20. Promedio de los resultados de los alisados tensión de los papeles de *periódico común*.

| Papel | Promedio (%) | |
|-------------|--------------|------|
| | MD | CD |
| Periódico 1 | -0,53 | 3,84 |
| Periódico 2 | -0,88 | 4,11 |
| Periódico 3 | -0,70 | 3,84 |

Tabla 21. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD) del papel de *periódico común*.



Por último, el grupo de experimentos en el papel de *revista francesa de 1899* se realizó con el fin de evaluar el impacto del alisado en tensión en papel hecho a máquina envejecido naturalmente. Los resultados obtenidos aportaron datos muy interesantes al estudio. En primer lugar, tras el proceso de alisado las dimensiones de las hojas fueron diferentes de las originales: en promedio, utilizando almidón, las hojas de muestra fueron 1'06 % más largas en CD que al principio y 0'06 % más cortas en MD; mientras que al utilizar el adhesivo Tylose, las hojas terminaron siendo 1'5 % más largas en CD y 0'23 % más cortas en MD (Tablas 22-23)¹²⁸.

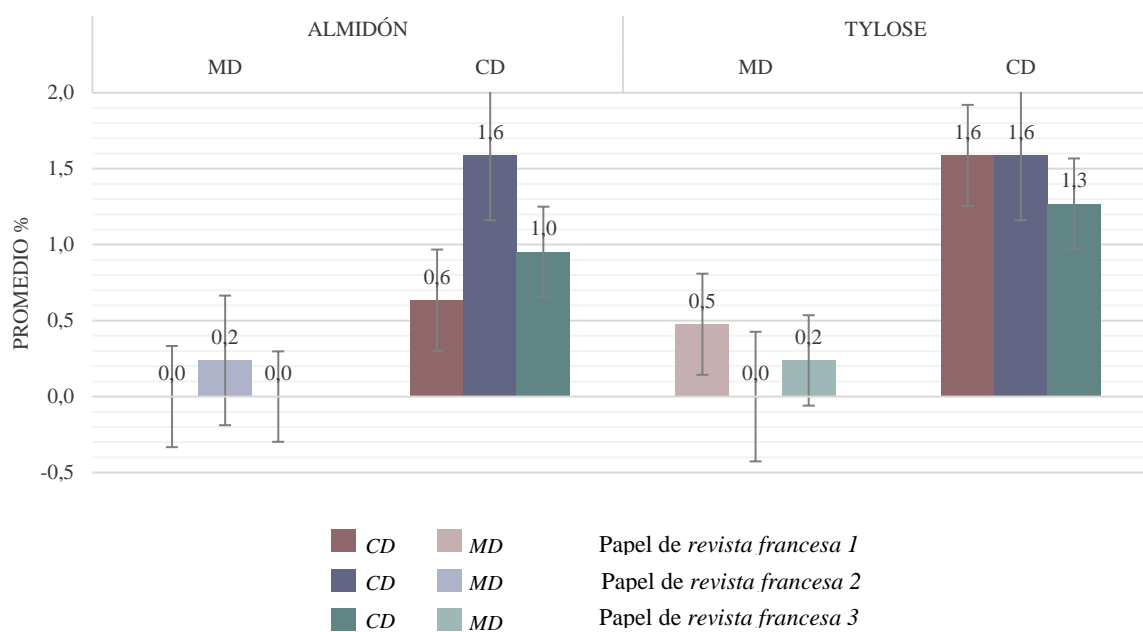
Tabla 22. Promedio de los resultados de los alisados en tensión en láminas naturalmente envejecidas.

| Papel | PROMEDIO (%) | | | |
|-----------|-----------------|-----|------------------|-----|
| | Almidón Shoufu® | | Tylose® MH 300 P | |
| | MD | CD | MD | CD |
| Revista 1 | 0 | 0'6 | 0'5 | 1'6 |
| Revista 2 | 0'2 | 1'6 | 0 | 1'6 |
| Revista 3 | 0 | 1 | 0'2 | 1'3 |

¹²⁷ Véase Tablas de resultados en Anexos, p 63.

¹²⁸ Véase Tablas de resultados en Anexos, p 63.

Tabla 23. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD) del papel de revista francesa de 1899.



8. REVISIÓN AUTOCRÍTICA

In general, there is a degree of doubt, caution and modesty which, in all kinds of investigations, must always accompany the thorough reasoner¹²⁹.

David Hume (1711-1776)

LIMITACIONES DEL MÉTODO EXPERIMENTAL

En este apartado, se exponen una serie de ventajas y desventajas relacionadas con el desarrollo experimental llevado a cabo. En primer lugar, el método utilizado permitió controlar las variables que se habían establecido (tiempo, sistema, temperatura, humedad relativa). Gracias a ello, la investigación experimental permitió mayor grado de control de las variables. También se estudiaron las variables de forma aislada por lo que se pudo establecer una relación directa entre estas y los resultados obtenidos. Por último, al tener control sobre las variables y el contexto donde se llevó a cabo el estudio, este puede ser reproducible.

Por otro lado, existen factores fuera de las manos del conservador, que no se pueden controlar (y en muchos casos ni siquiera supervisar): por ejemplo, el grado de estrés interno o la historia del objeto. En el laboratorio se crean situaciones acordes al objetivo a investigar. Estas situaciones están muy controladas y difícilmente pueden representar una situación real, pues siempre se excluyen algunas variables. También se ha de añadir, que a pesar de que la experimentación fue rigurosa, puede darse el caso de que la precisión del sistema de medida no fuese tan exacta. En la experimentación que se llevó a cabo en este trabajo, la precisión del sistema de medida tuvo una resolución de tan sólo 1 mm. Sin embargo, puede ocurrir que los resultados obtenidos no sean representativos. Por último, no es el objetivo de este trabajo evaluar la relevancia de cada factor individual sobre la alteración dimensional de las hojas de papel alisadas en tensión¹³⁰.

OTRAS POSIBILIDADES

La alteración de tamaño del papel es una característica muy importante que se debe tener en cuenta para todos los procesos de intervención del papel, pues en cualquier caso se está alterando el original y esto puede traer problemas técnicos que se evidenciarán si se trata de hojas de gran formato u obra gráfica compuesta por varias hojas, como, por ejemplo: posters, mapas, etc. Resultaría de gran interés realizar este análisis en láminas de mayor tamaño para observar si los resultados reflejan a mayor escala los resultados obtenidos en este estudio.

En primer lugar, para estudiar el tema en mayor profundidad se podría haber ampliado la investigación añadiendo más variables, como, por ejemplo: más sistemas de alisado en tensión, más tipos de papeles, diferentes superficies de alisado, etc. Debido a diferentes motivos, fue imposible alcanzar esos

¹²⁹ HUME, D. *A Treatise of Human Nature*. Editorial: L.A. Selby-Bigge. Clarendon Press, Oxford. 1973, p 94.

¹³⁰ MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. Restaurator 30, 2009, p 195.

objetivos. El primer motivo fue el tiempo. Una observación sistemática y continua de un proceso de secado con tantas variables a tener en cuenta, tomaría una cantidad de tiempo de trabajo desmesurada. Por otro lado, los cambios dimensionales también pueden verse más o menos afectados por el tipo de humectación. Es cierto que la inmersión en agua ayuda a organizar las cadenas de celulosa, además de generar puentes de hidrógeno. Este proceso genera mayor flexibilidad en el papel, que si no es controlado puede llegar a ser un problema para el conjunto de la obra.

Por último, el hecho de haber tenido que limitar las variables estudiadas en esta investigación por motivos de tiempo y operabilidad, abre puertas a futuras investigaciones reproduciendo este estudio.

9. CONCLUSIONES

These are the prerogatives of genius: to know without having learned; draw fair conclusions from ignored premises; discern the soul of things.

Bronson Alcott (1799 – 1888)¹³¹

Las técnicas de alisado en tensión son comunes en la conservación del papel. Estas técnicas a menudo implican la humectación de la lámina y su secado con algún tipo de restricción. La consecuencia de este hecho es que las láminas experimentan una alteración en sus dimensiones. Las mediciones de las hojas de papel nuevas y envejecidas confirman que el alisado en tensión de las hojas húmedas puede modificar las dimensiones originales de las hojas.

La orientación de fibra proporciona una explicación de por qué los papeles hechos a máquina tienen diferentes higroexpansividades en cada dimensión plana, y, por lo tanto, la expansión no es la misma en ambos lados¹³². Tras el alisado en tensión, las hojas de prueba resultaron más largas en CD, sin embargo, en la otra dirección (MD) no solo no se expandieron, sino que se redujeron. Independientemente de su higroexpansividad, una lámina seca pierde aproximadamente la misma cantidad de moléculas de agua que había obtenido cuando se humedeció.

La forma en que funcionan las máquinas de fabricación de papel provoca que las hojas de papel planas hechas a máquina se vuelvan más cortas de lo que eran anteriormente. Cuando se produce papel hecho a máquina, el papel húmedo recién hecho se tira de un extremo de la máquina hacia el otro extremo, donde llega completamente seco y forma un rollo. La fuerza de tracción es lo suficientemente fuerte como para tirar del papel a través de varios rollos, lo que estresa y estira el papel en el proceso. Cuando el papel pasa a través de los rodillos de secado de la máquina de papel, se seca bajo tensión: las fibras se unen por enlaces de hidrógeno. Por lo tanto, la mayoría de los papeles hechos a máquina contienen algo de tensión interna (también conocida como 'tensión residual')¹³³. Cuando la lámina está húmeda, se aflojan estos enlaces de hidrógeno y esto permite que las fibras se muevan un poco¹³⁴. El estrés en las fibras se libera así, y la lámina tiende a contraerse a un estado libre de estrés. A medida que la hoja se seca, se vuelve ligeramente más corta de lo que era originalmente, paradójicamente, más corta de lo que nunca fue¹³⁵. Por otro lado, si se le aplican varios ciclos de humectación y secado a una lámina, inevitablemente el papel alcanza su longitud límite en húmedo y en seco, y las fibras habrán obtenido sus configuraciones más libres de estrés¹³⁶. Sin embargo, en todos los casos se produce un crecimiento-decrecimiento irreversible.

¹³¹ BRONSON, ALCOTT. *Concord days*. Boston, Roberts brothers, 1872.

¹³² MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. *Restaurator* 30, 2009, p 192.

¹³³ ÖSTLUND, M.: *Residual stresses in paperboard and the influence of drying conditions*. [Tesis Doctoral]. KTH Engineering Sciences. 2005, pp 3-14.

¹³⁴ BANIK, G; BRÜCKLE, I. *Paper and water. A guide for conservators*. Elsevier, 2011, p 393.

¹³⁵ MUÑOZ, S. *The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper*. *Restaurator* 30, 2009, p 192.

¹³⁶ BANIK, G; BRÜCKLE, I. *Paper and water. A guide for conservators*. Elsevier, 2011, p 403.

Si se evalúan todos los datos obtenidos en el desarrollo experimental realizado a hojas se puede concluir que, tanto en adhesión perimetral como en adhesión total, como en laminación, los papeles aumentaron sus medidas independientemente del sistema empleado. Sin embargo, el tratamiento que menor variación dimensional provocó en las hojas de prueba fue la laminación, ya que las láminas contraían y expandían en menor medida. Asimismo, se puede concluir que la variación era muy escasa en función del adhesivo utilizado, no obstante, el almidón provocó que las hojas expandiesen en menor medida pero que se contrajesen más. En términos generales se puede afirmar que en todas las hojas de prueba se produjo una variación dimensional que afectaba a ambas direcciones. Además, en todos los casos se produjo un incremento en la CD y un decrecimiento en la MD.

A diferencia de las hojas nuevas, el papel hecho a máquina envejecido naturalmente presenta poca o ninguna tendencia a la contracción de MD; y en todos los casos, la alteración de las láminas húmedas siempre es mayor en el CD que en la MD. Las mediciones realizadas en este estudio también sugieren que la reducción en la MD no es tan común como en las hojas no envejecidas (en las pruebas realizadas, solo una de las seis hojas envejecidas de forma natural se redujo). Esto puede deberse a varios factores: los papeles viejos se debilitan y las máquinas de papel más antiguas funcionan a una velocidad más lenta, lo que probablemente causa menos tensión interna en el papel que producen. Además, los papeles envejecidos casi siempre han estado expuestos a condiciones variables de HR, experimentando así los efectos de una fluencia lenta que puede haber ayudado a liberar las tensiones incorporadas¹³⁷. Dado que las hojas de papel hechas a máquina envejecidas naturalmente a menudo tienen tensiones internas más débiles que las más nuevas, se puede esperar que se encojan menos que las hojas no envejecidas cuando se alisan¹³⁸.

Para finalizar, es importante añadir que aparte de la presión o tensión en el tratamiento de alisado, existen otros muchos factores que pueden jugar un papel significativo en la determinación de las dimensiones finales de una lámina. Muchos de ellos son controlables por el conservador como, por ejemplo, la textura de la lámina, las superficies adyacentes o (en el caso de los alisados en presión) el grado de presión aplicado. Sin embargo, existen otros factores fuera del control del conservador como el grado de estrés interno o la historia del documento. El objetivo de este trabajo no es evaluar la relevancia de cada factor individual sobre la alteración dimensional de las hojas, pero si es importante destacar que: existe una alteración dimensional, que es irreversible y que, tanto por razones técnicas como éticas, los conservadores la deben tener en cuenta.

¹³⁷ BANIK, G; BRÜCKLE, I. *Paper and water. A guide for conservators*. Elsevier, 2011, p 390.

¹³⁸ MUÑOZ, S. The impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper. *Restaurator* 30, 2009, p 192.

10. BIBLIOGRAFÍA

- AA.VV. Book and Paper Group Tips: Contemporary Treatment—Tips and Techniques. The Book and Paper Group Annual 33. Portland, 2014.
- ALFTHAN, J. *The effect of humidity cycle amplitude on accelerated tensile creep of paper*. Mechanics of Time-Dependent Materials 8. 2004.
- BANIK, G., CREMONESI, P., ET AL. *Nuove Metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, Ed. Il prato, Padova. 2003.
- BANIK, G.; BRÜCKLE, I. *Paper and water. A guide for Conservators*. Butterworth-Heinemann. Elsevier. 2011.
- BRONSON, ALCOTT. *Concord days*. Boston, Roberts brothers, 1872.
- BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992.
- CLAPP, ANNE F. *Curatorial care of works of art on paper: basic procedures for paper preservation*. New York: Lyons and Burford, 1974.
- COFFIN, D. W. *The creep response of paper*. 13th Fundamental Research Symposium, Cambridge, 2005.
- COPEDE, M. *La carta e il suo degrado*. Firenze: Nardini. 1995.
- COPEDE, M. *Restauración del papel. Prevención, conservación, reintegración*. Editorial Nerea. 2012.
- CURIE, E. *Madame Curie. A biography*. Editorial Gallimard, 1938.
- DIDEROT, D. *Essai. Pensées philosophiques*, 1746.
- ENGEL, F. *El origen de la familia, la propiedad privada y el estado*. 1884.
- FUTERNICK, R. *Alternative techniques in paper conservation*. Proceedings, Canadian Conservation Institute, Conservation of Historic and Artistic Works on Paper. Ottawa, 1994.
- GÄRD, J.: *The influence of fiber curl on the shrinkage and strength properties of paper*. Institutionen för Kemi och metallurgi. Avdelningen för Kemisk teknologi. 2002.
- HERRING, R; CROLY, G. *Paper & Paper Making Ancient and Modern*. Longman. 1863.
- HUBBE, M; BOWDEN, C. *Handmade paper: a review of its history, craft and science*. North Carolina State University. 2009
- HUME, D. *A Treatise of Human Nature*. Editorial: L.A. Selby-Bigge. Clarendon Press, Oxford. 1973
- HUXTABLE, M.; WEBBER, P. *Some adaptations of oriental techniques and materials used in the prints and drawings conservation department of the Victoria and Albert Museum*. The Paper Conservator 11. 1987.
- JÖNS, H; MEUSBURGER, P; HEFFERNAN, M. *Mobilities of Knowledge*. Springer International Publishing. 2017.
- JUAN, F.; SÁNCHEZ, AJ.; RICOLFE, C.; MELLADO, M. *Understanding paper flattening (II). An artificial vision system for the assessment of pressure flattening processes in conservation*. Arché. 2006.
- LIENARDY, A., VAN DAMME, P. *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut Royal du Patrimoine artistique, Bruxelles. 1989

- LORUSSO, S. *Caratterizzazione, tecnologia e conservazione dei manufatti cartacei*. Roma: Bulzoni. 1996.
- LOUIS PIETTE. *Traité de la fabrication du papier*. Paris: L. Mathias, 1831.
- MARTIN, G. *Físico-química del papel*. Publicaciones Offset. 1965.
- MASATO KATO; TAKAYUKI KIMISHIMA. *Karibari: The Japanese drying technique* en “Adapt & Evolve 2015: East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. *Proceedings from the International Conference of the Icon Book & Paper Group*”, London 8- 10. Tokyo National Research Institute for Cultural Properties, 2015.
- MOLANO, A. *Impacto de los sistemas de alisado en tensión sobre las dimensiones de los papeles fourdrinier*. [Tesina de Máster] Universidad Politécnica de Valencia. 2016.
- MUÑOZ, S. *Anisotropía y creep. Recomendaciones para el alisado del papel*. 17th International Meeting on Heritage Conservation, 2000.
- MUÑOZ, S. *La restauración de papel*. Editorial Tecnos. 2010
- MUÑOZ, S. *The impact of Conservation Pressure-Flattening on the Dimensions of Machine-Made Paper*. Restaurator. 2009.
- MUÑOZ, S. *Understanding paper flattening (I). Principles and problems of common flattening techniques*. Arché 1. 2006.
- MURPHY, C. *The treatment of an Odilon Redon chine collé lithograph: L'art Celeste*. Journal of the American Institute for Conservation 37, 1998.
- ÖSTLUND, M.: *Residual stresses in paperboard and the influence of drying conditions*. [Tesis Doctoral]. KTH Engineering Sciences. 2005.
- PANDEY, R. S. D. *Theory and Design of Paper Machines*. Vol. 1, Tara Book Agency, Varnasi, India 1983.
- PERELLÓ, A. *Restauración de cartel de siglo XX*. [Trabajo Final de Grado]. Universidad Politécnica de Valencia. 2013-2014.
- RÉAUMUR, R.-A. F. *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes. Six volumes*. Académie Royale des Sciences, Paris, France. 1734–1742.
- ROBERTS, J.C. “Chapter 2. *The material of paper*”, *The chemistry of paper*. The Royal Society of Chemistry. RSC Paperbacks. 1996.
- SAN ANDRÉS, M., DE LA VIÑA, S.: *Fundamentos de química y física para la conservación y restauración*. Editorial Síntesis.
- SEGEBARTH, I. *Les papiers transparents anciens: Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Editorial: Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris. 2000.
- STRLIC, M; KOLAR, J. *Ageing and stabilisation of paper*. Ljubljana: National and University Library, 2005.
- SUGARMAN, J. E., TIMOTHY J. V. “*Observations on the Drying of Paper: Five Drying Methods and the Drying Process*.” Journal of the American Institute for Conservation 31 (2). 1992.
- WATKINS, S. *Practical considerations for Humidifying and Flattening paper*. The Book and Paper Group Annual 21. 2002.

WEBGRAFÍA

- <https://aatespanol.cl/terminos/300220157>
- <https://adaptandevolve2015.wordpress.com/tag/karibari/>
- <https://archive.org/details/memoirespourserv05ra/page/n6/mode/2up>
- [https://britannica.com/technology/papermaking#ref625027\).](https://britannica.com/technology/papermaking#ref625027)
- https://books.google.es/books?id=rruxKEj2X0YC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- <https://cambridge.org/core/journals/mrs-online-proceedings-library-archive/article/effects-of-drying-on-the-mechanical-properties-of-paper-and-their-relationship-to-the-treatment-of-paper/D63ABD0F5F7EB3E502079F0D9969899A>
- <https://chesterbeattyconservation.wordpress.com/2015/05/15/making-a-karibari-the-japanese-drying-board/>
- <https://conservacionyrestauracion.cl/papel-libre-de-acido/218-papel-barrera-canson-80gr.html>
- https://conservationwiki.com/wiki/BPG_Drying_and_Flattening#Drying_and_Flattening_Methods
- <https://culturalheritage.org/membership/groups-and-networks/book-and-paper-group/resources/bpgannual/title-index>
- <https://davidroussel.wordpress.com/2013/03/19/on-continue-la-visite-alors-2eme-serie-de-la-papeterie-darblay/>
- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4940720>
- https://escholarium.educarex.es/useruploads/r/c/55533/scorm_imported/42886657697715366619/una_molcula_muy_especial.html
- http://edym.net/Materia_prima_textil_gratis/2p/matprim/cap06/cap06-1.htm
- <https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/190609>
- <https://europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-catedratico-politecnica-salvador-munoz-primer-fellow-espanol-instituto-internacional-conservacion-20101116183007.html>
- [https://fabriano.com/es/324/nuestra_historia\)](https://fabriano.com/es/324/nuestra_historia)
- <https://ge-iic.com/fichas-tecnicas/gelificantes-espesantes/tilosa-tylose/>
- <https://geneanet.org/cartes-postales/view/47631#0>
- http://www.iesbinef.educa.aragon.es/fiqui/jmol/tiposustancias.htm?_USE=HTML5
- <https://iccrom.org/s?search=FLATTENING+PAPER&button=submit>
- <https://irp.webs.upv.es/es/sistema-pleural-para-alisado-de-papel/>
- <https://iso.org/standard/36631.html>
- <https://www.leroymerlin.es/fp/17375302/varilla-de-pino-cepillado-sin-nudos-de-22x22mm-x-2-m>
- <https://lineco.com/wheat-starch.html>
- <https://limawell.edu.pe/importacion-papel-bond-aspectos/>

https://researchgate.net/publication/318935154_Study_on_Mechanism_of_Flattenning_Papers_in_Heat_and_Pressure_method

<https://ritaudina.com/es/>

<https://shop-espana.ctseurope.com/522-papel-japones-art-502-tengujo-kashmir>

<https://shop-espana.ctseurope.com/113-tylose-mh-300-p>

<https://theheritagetrust.wordpress.com/2017/04/18/hyogu-the-ancient-art-of-picture-conservation-in-japan/>

https://tienda.arteymemoria.com/es/adhesivos-pegamentos-y-consolidantes/191-almidon-de-trigo-shoufu.html?search_query=ALMIDON&results=26

<https://timetoast.com/timelines/principales-manifestaciones-de-diseno-grafico-durante-la-revolucion-industrial-y-las-principales-vanguardias-graficos-del-siglo-xx-1420b17d-74d4-41d7-830e-7085fc487229>

<https://todoenpolimeros.com/2018/03/05/resina-de-melamina/>

<https://totenart.com/almidon-de-trigo-puro-60cc>

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Cellulose-3D-balls.png>

<https://totenart.com/torreon-90-gr-70x100-cm-blanco-nat>

<https://uv.es/~ivorra/Filosofia/Historia/Voluntad.html>

<https://vimeo.com/89455385>

<https://youtube.com/watch?v=e9r2oBMgBfs&feature=youtu.be>

11. ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Broussonetia papyrifera en Francisco Manuel Blanco, Flora de Filipinas. Según el sistema sexual de Linneo, Manila: 1837..... | 10 |
| Ilustración 2. Cylindres faits à la manière de Hollande; plan de la partie inférieure du moulin. Mecanismo básico de la pila holandesa descrito por Joseph Jérôme en Art de faire le papier..... | 11 |
| Ilustración 3. Papeterie Darblay, Corbeil-Essonnes. Fabrica industrial de papel, ubicada en Corbeil-Essonnes, en el que trabajó Nicholas-Louis Robert para François Didot. | 11 |
| Ilustración 4. Esquema de una máquina de fabricación de papel continuo, extraída de: http://www.dartfordarchive.org.uk/technology/magnified/Fourdrinier.htm .. | 12 |
| Ilustración 5. Alzado de una máquina de fabricación de papel Fourdrinier, 1812..... | 12 |
| Ilustración 6. Fibra de algodón bajo el microscopio..... | 15 |
| Ilustración 7. Formula desarrollada del monómero de celulosa. | 15 |
| Ilustración 8. Estructura 3D de un polímero de celulosa. Imagen extraída de: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Cellulose-3D-balls.png | 15 |
| Ilustración 9. Formula desarrollada dos monómeros de la cadena de celulosa formando una unidad de celobiosa. | 15 |
| Ilustración 10. Esquema de organización de las moléculas de celulosa en micelas y microfibrillas. | 16 |
| Ilustración 11. Estructura 3D de la formación de enlaces de hidrógeno..... | 17 |
| Ilustración 12. Formación de puentes de hidrógeno (en rojo) entre dos cadenas de celulosa. | 17 |
| Ilustración 13. Estructura 3D de una molécula de agua. | 18 |
| Ilustración 14. Esquema de sistema de humectación mediante membrana de Gore-Tex ®. | 20 |
| Ilustración 15. Esquema de sistema secado. | 21 |
| Ilustración 16. Sistema pleural del taller de conservación y restauración del papel del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV..... | 21 |
| Ilustración 17. Ejemplo de laminación realizado por Jakub Zelazowski y la autora, en la asignatura de Técnicas instrumentales de la restauración de papel, impartida en la Universidad Politécnica de Valencia. | 23 |
| Ilustración 18. Copia de un grabado en madera del siglo XIV de un de un sacerdote hyōgushi y su asistente utilizando un karibari, del pintor japonés Fujiwara Takakane (1923)..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| Ilustración 19. Esquema de un karibari. | 24 |
| Ilustración 20. Esquema de dirección de la máquina (MD) y la dirección perpendicular (CD)..... | 26 |
| <i>Ilustración 21. Papel en rollo en la sección de bobinado de una máquina de papel. La dirección de la máquina (MD) está alineada en paralelo con el movimiento de la banda a través de la máquina de papel. La dirección transversal (CD) está alineada en paralelo al carrete de cuerda. La dirección fuera del plano (ZD) es perpendicular al plano principal de la red formada por los vectores MD y CD.</i> | <i>26</i> |
| Ilustración 22. Almidón de trigo puro, Shoufu ®..... | 29 |
| Ilustración 23. Papel Bond típico. | 30 |
| Ilustración 24. Papel Torreón. | 30 |
| Ilustración 25. Papel Barrera Canson. | 30 |
| Ilustración 26. Mediciones de HR y temperatura durante el desarrollo experimental. | 31 |
| Ilustración 27. Proceso de inmersión de una lámina. | 31 |
| Ilustración 28. Proceso de aplicación de adhesivo en toda la superficie de la lámina para la adhesión total. | 33 |
| Ilustración 29. Proceso de darle la vuelta a la lámina con la ayuda del palillo de bambú plano. | 33 |
| Ilustración 30. Proceso de fijación del papel a la melamina lisa tratando de no generar bolsas de aire. | 33 |
| Ilustración 31. Proceso de colocación de la lámina sobre la melamina lisa con ayuda de un Reemay®..... | 34 |
| Ilustración 32. Proceso de aplicación del adhesivo en el perímetro de una lámina para una adhesión perimetral. | 34 |
| Ilustración 33. Imagen de una lámina de papel Bond en proceso de secado. | 34 |
| Ilustración 34. Proceso de aplicación del papel japonés para laminar la hoja de prueba. | 35 |
| Ilustración 35. Proceso de laminación de una hoja..... | 35 |
| Ilustración 36. Proceso de eliminación por tracción del papel japonés adherido tras la laminación..... | 35 |
| Ilustración 37. Imagen de una lámina de papel de periódico común en proceso de secado por adhesión total..... | 37 |
| Ilustración 38. Imagen de detalle de una lámina de papel de periódico común en proceso de secado. | 37 |
| Ilustración 39. Portada de la revista francesa de 1899..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 40. Proceso de inmersión de una lámina de la revista francesa de 1899..... | 38 |
| Ilustración 41. Proceso de adhesión de las láminas de la revista francesa de 1899..... | 38 |
| Ilustración 42. Fotografía final tras la adhesión total de una hoja de revista francesa de 1899..... | 38 |
| Ilustración 43. Medición inicial de la CD de una lámina de papel Barrera. ... | 39 |
| Ilustración 44. Medición de la CD tras la inmersión de una lámina de papel Barrera..... | 39 |
| Ilustración 45. Medición final de la CD de una lámina de papel Barrera alisada en tensión por adhesión total. | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Características principales del Tylose ® MH 300 P..... | 28 |
| Tabla 2. Características principales del Almidón de trigo puro Shoufu ®. ... | 29 |
| Tabla 3. Características de papeles..... | 29 |
| Tabla 4. Papel Bond. | 30 |
| Tabla 5. Papel Torreón. | 30 |
| Tabla 6. Papel Barrera Canson. | 30 |
| Tabla 7. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión total..... | 33 |
| Tabla 8. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión perimetral. | 34 |
| Tabla 9. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por laminación. | 35 |
| Tabla 10. Papel Canson-Guarro ‘Basik’..... | 36 |
| Tabla 11. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión total..... | 36 |
| Tabla 12. Papel de periódico común. | 37 |
| Tabla 13. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por adhesión total..... | 37 |
| Tabla 14. Papel de revista francesa de 1899..... | 38 |
| Tabla 15. Variaciones dimensionales tras el alisado en tensión por laminación en el periódico francés de 1899. | 38 |
| Tabla 16. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD). | 40 |
| Tabla 17. Desviación estadística de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD). | 40 |
| Tabla 18. Promedio de los resultados de los alisados en presión y tensión de los papeles Bond y Canson-Guarro Basik | 41 |
| Tabla 19. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD) entre los papeles Bond y Canson-Guarro Basik, con un sistema de alisado en presión y en tensión | 41 |
| Tabla 20. Promedio de los resultados de los alisados tensión de los papeles de periódico comunes..... | 42 |
| Tabla 21. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD) del papel de periódico común. | 42 |


| | |
|---|----|
| Tabla 22. Promedio de los resultados de los alisados en tensión en láminas naturalmente envejecidas..... | 42 |
| Tabla 23. Alteración media de las dimensiones originales de dirección de máquina (MD) y dirección transversal (CD) del papel de revista francesa de 1899..... | 43 |

ÍNDICE DE ESQUEMAS

| | |
|--|----|
| Esquema 1. Esquema del trazado de líneas de referencia en las probetas. | 31 |
| Esquema 2. Esquema del procedimiento del desarrollo experimental..... | 31 |
| Esquema 3. Esquema del primer grupo de experimentos | 33 |
| Esquema 4. Esquema del sistema de adhesión total (el cuadrado gris representa la hoja, el cuadrado de líneas el adhesivo). | 33 |
| Esquema 5. Esquema del sistema de adhesión perimetral (el cuadrado gris representa la hoja y el perímetro de líneas el adhesivo). | 34 |
| Esquema 6. Esquema del segundo grupo de experimentos. | 34 |
| Esquema 7. Esquema del sistema de laminación (el cuadrado gris representa la hoja, el cuadrado azul translucido el papel japonés). | 35 |
| Esquema 8. Esquema del tercer grupo de experimentos. | 35 |

12. ANEXOS

FICHA TÉCNICA: TYLOSE ® MH 300 P



C.T.S. ESPAÑA
Productos y Equipos para la Restauración, S.L.
C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos
28906 GETAFE (Madrid)
Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33
www.ctseurope.com - E-mail: cts.espana@ctseurope.com

TYLOSE MH 300 p

| | |
|---------------------|---------------------------|
| COMPOSIZIONE | Metilidrossietilcellulosa |
|---------------------|---------------------------|

| | |
|------------------------|--------------------------|
| CARATTERISTICHE | |
| Aspetto | Polvere |
| Solubilità | Solubile in acqua fredda |
| Ionogenità | Non ionico |

| | | |
|---|-----------------|-------------------|
| DATI TECNICI | | Metodo Hoechst |
| Aggiornamento 11/92 | | |
| Contenuto attivo (Tai Quale) | % - 91,5 min | 8100 |
| Umidità | % 7 max | 8130 |
| Contenuto NaCl | % 1,5 max | 8150 |
| Granulometria < 0,180 mm | % 90 min | 8000 |
| | < 0,100 mm | % 25 min |
| Viscosità Hoesppler | mPa s 270 - 350 | 8320 |
| 1,5% sostanza assolutamente secca disciolta in acqua a 25°C e 20" di H | | |

| | |
|--|--|
| STOCCAGGIO | |
| In ambienti chiusi ed all'asciutto il prodotto può essere immagazzinato a lungo. | |

| | |
|--|--|
| CONFEZIONAMENTO | |
| Tylose MH 300 p è confezionata in sacchi da 25 Kg multistrato con polietilene interno per proteggere il prodotto dall'umidità. Può essere spedita su pallets a perdere da 1000 Kg con termoretrabile. | |
| Tylose è Marchio registrato | |

Diamo informazioni, consigliamo, affidiamo il tutto alle migliori conoscenze e servono con sempre maggiore serietà e competenza a tutte le necessità di pulizia, restauro e protezione di qualsiasi monumento storico artistico in Italia e all'estero. Siamo con la passione di garantire sempre la massima qualità del prodotto e la durata degli stessi per una serena e duratura applicazione.

Pagina 1 di 110/11/2006

TABLAS DE FORMULACIONES DE LOS ADHESIVOS

| Almidón, Shoufu ® | Proporción | Validez |
|-------------------|----------------|------------------------------|
| Ensayo 1 A | 20 gr / 100 ml | No |
| Ensayo 2 A | 10 gr / 40 ml | No (extremadamente potente) |
| Ensayo 3 A | 12 gr / 100 ml | No (extremadamente potente) |
| Ensayo 4 A | 12 gr / 200 ml | No (extremadamente potente) |
| Ensayo 5 A | 10 gr / 250 ml | No (bastante potente) |
| Ensayo 6 A | 10 gr / 400 ml | No (zonas adheridas) |
| Ensayo 7 A | 10 gr / 500 ml | No (zonas adheridas) |
| Ensayo 8 A | 10 gr / 550 ml | No (zonas adheridas) |
| Ensayo 9 A | 10 gr / 600 ml | No (zonas un poco adheridas) |
| Ensayo 10 A | 10 gr / 650 ml | No (zonas un poco adheridas) |
| Ensayo 11 A | 10 gr / 700 ml | Si |
| Ensayo 12 A | 10 gr / 750 ml | Si |

| Tylose ® MH 300 P | Proporción | Validez |
|-------------------|----------------|-----------------------------|
| Ensayo 1 A | 10 gr / 250 ml | No |
| Ensayo 2 A | 10 gr / 300 ml | No (sólo 1 positivo) |
| Ensayo 3 A | 20 gr / 250 ml | No (extremadamente potente) |
| Ensayo 4 A | 15 gr / 250 ml | Si |

TABLAS DE TESTADO DE LOS ADHESIVOS

| | PAPEL | ADHESIVO | PROPORCIÓN | TÉCNICA | RESULTADO |
|-----------|--------------|----------|----------------|------------|--|
| Ensayo 1T | Barrera | Tylose | 10 gr / 250 ml | Total | Parcialmente negativo. Mejor resultado que en el ensayo 1A, excepto por la rotura del papel. |
| Ensayo 1T | Bond (A4) | Tylose | 10 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 1T | Estraza | Tylose | 10 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 1T | Torreón | Tylose | 10 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2T | Bond (A4) | Tylose | 10 gr / 300 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2T | Barrera | Tylose | 10 gr / 300 ml | Total | Positivo. |
| Ensayo 3T | Torreón | Tylose | 20 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 3T | Barrera | Tylose | 20 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 3T | Estraza | Tylose | 20 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 3T | Bond | Tylose | 20 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2T | Barrera | Tylose | 10 gr / 300 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2T | Bond | Tylose | 10 gr / 300 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2T | Torreón | Tylose | 10 gr / 300 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2T | Canson Basik | Tylose | 10 gr / 300 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 3T | Torreón | Tylose | 20 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 3T | Barrera | Tylose | 20 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 1T | Bond | Tylose | 10 gr / 250 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 4T | Torreón | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Negativo. Roto al aplicar el adhesivo. |
| Ensayo 4T | Barrera | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Bond | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Bond | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Negativo. Roto al aplicar el adhesivo. |
| Ensayo 4T | Bond | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Barrera | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Torreón | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Bond | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 4T | Barrera | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Torreón | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Parcialmente positivo (se ha despegado una esquina). |
| Ensayo 4T | Barrera | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Parcialmente positivo (se ha despegado una esquina). |
| Ensayo 4T | Torreón | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Parcialmente positivo (se ha despegado una esquina). |
| Ensayo 4T | Bond | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 4T | Barrera | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 4T | Torreón | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 4T | Canson | Tylose | 15 gr / 250 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 4T | Bond | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 4T | Barrera | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 4T | Torreón | Tylose | 15 gr / 250 ml | Perimetral | Positivo |

| | PAPEL | ADHESIVO | PROPORCIÓN | TÉCNICA | RESULTADO |
|------------|---------|----------|----------------|------------|--|
| Ensayo 1A | Barrera | Almidón | 20 gr / 100 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 1A | Basik | Almidón | 20 gr / 100 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 1A | Torreón | Almidón | 20 gr / 100 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2A | Barrera | Almidón | 25 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 2A | Bond | Almidón | 25 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 2A | Torreón | Almidón | 25 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 2A | Bond | Almidón | 25 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 2A | Bond | Almidón | 25 gr / 100 ml | Total | Negativo. Se ha despegado. |
| Ensayo 2A | Bond | Almidón | 25 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 3A | Bond | Almidón | 12 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 3A | Bond | Almidón | 12 gr / 100 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 4A | Bond | Almidón | 12 gr / 200 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 4A | Bond | Almidón | 12 gr / 200 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 5A | Bond | Almidón | 10 gr / 250 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 5A | Bond | Almidón | 10 gr / 250 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido. |
| Ensayo 6A | Bond | Almidón | 10 gr / 400 ml | Total | Negativo. Zonas demasiado adheridas. |
| Ensayo 6A | Bond | Almidón | 10 gr / 400 ml | Total | Negativo. Zonas demasiado adheridas. |
| Ensayo 7A | Bond | Almidón | 10 gr / 500 ml | Total | Negativo. Zonas un poco adheridas. |
| Ensayo 7A | Bond | Almidón | 10 gr / 500 ml | Total | Negativo. Zonas un poco adheridas. |
| Ensayo 8A | Bond | Almidón | 10 gr / 550 ml | Total | Negativo. Zonas ligeramente adheridas. |
| Ensayo 8A | Bond | Almidón | 10 gr / 550 ml | Total | Negativo. Zonas ligeramente adheridas. |
| Ensayo 9A | Bond | Almidón | 10 gr / 600 ml | Total | Positivo. |
| Ensayo 9A | Bond | Almidón | 10 gr / 600 ml | Total | Positivo. |
| Ensayo 10A | Bond | Almidón | 10 gr / 625 ml | Total | Positivo. |
| Ensayo 10A | Bond | Almidón | 10 gr / 625 ml | Total | Positivo. |
| Ensayo 10A | Barrera | Almidón | 10 gr / 625 ml | Total | Negativo. Se ha despegado |
| Ensayo 10A | Torreón | Almidón | 10 gr / 625 ml | Total | Negativo. Se ha despegado |
| Ensayo 10A | Torreón | Almidón | 10 gr / 625 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 9A | Basik | Almidón | 10 gr / 600 ml | Total | Negativo. Zonas ligeramente adheridas |
| Ensayo 9A | Barrera | Almidón | 10 gr / 600 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 9A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Negativo. Zonas ligeramente adheridas |
| Ensayo 11A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 11A | Barrera | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 11A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido |
| Ensayo 11A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Negativo. Demasiado adherido |
| Ensayo 11A | Torreón | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Negativo. Se ha despegado |
| Ensayo 11A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Negativo. Se ha despegado |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Barrera | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Barrera | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Torreón | Almidón | 10 gr / 750 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Laminación | Positivo |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 12A | Barrera | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Barrera | Almidón | 10 gr / 700 ml | Perimetral | Positivo |
| Ensayo 12A | Bond | Almidón | 10 gr / 700 ml | Total | Positivo |
| Ensayo 12A | Torreón | Almidón | 10 gr / 700 ml | Perimetral | Positivo |

TABLAS DE RESULTADOS

| HIGROEXPANSIVIDAD DESARROLLO EXPERIMENTAL TYLOSE | | | PRE | | HÚMEDO | | POST | | Δ ABS (mm) | | % | |
|---|--------|------------|-----|-----|--------|-----|------|-----|------------|----|------|-----|
| PAPEL | ENSAYO | SISTEMA | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Barrera Canson | 4T | Total | 295 | 420 | 296 | 430 | 295 | 430 | 0 | 10 | 0,0 | 2,4 |
| Barrera Canson | 4T | Total | 296 | 419 | 294 | 430 | 295 | 430 | -1 | 11 | -0,3 | 2,6 |
| Barrera Canson | 4T | Total | 295 | 419 | 295 | 428 | 294 | 429 | -1 | 10 | -0,3 | 2,4 |
| Barrera Canson | 4T | Perimetral | 296 | 419 | 294 | 428 | 295 | 428 | -1 | 9 | -0,3 | 2,1 |
| Barrera Canson | 4T | Perimetral | 296 | 418 | 295 | 428 | 295 | 427 | -1 | 9 | -0,3 | 2,2 |
| Barrera Canson | 4T | Perimetral | 296 | 419 | 295 | 429 | 295 | 430 | -1 | 11 | -0,3 | 2,6 |
| Barrera Canson | 4T | Laminación | 296 | 420 | 296 | 429 | 295 | 429 | -1 | 9 | -0,3 | 2,1 |
| Barrera Canson | 4T | Laminación | 296 | 419 | 295 | 429 | 294 | 427 | -2 | 8 | -0,7 | 1,9 |
| Barrera Canson | 4T | Laminación | 295 | 419 | 294 | 429 | 294 | 427 | -1 | 8 | -0,3 | 1,9 |
| Bond | 4T | Total | 297 | 420 | 296 | 428 | 296 | 429 | -1 | 9 | -0,3 | 2,1 |
| Bond | 4T | Total | 297 | 420 | 296 | 427 | 295 | 423 | -2 | 3 | -0,7 | 0,7 |
| Bond | 4T | Total | 297 | 420 | 296 | 426 | 296 | 426 | -1 | 6 | -0,3 | 1,4 |
| Bond | 4T | Perimetral | 297 | 420 | 296 | 429 | 296 | 428 | -1 | 8 | -0,3 | 1,9 |
| Bond | 4T | Perimetral | 297 | 420 | 296 | 426 | 296 | 421 | -1 | 1 | -0,3 | 0,2 |
| Bond | 4T | Perimetral | 297 | 420 | 296 | 427 | 295 | 427 | -2 | 7 | -0,7 | 1,7 |
| Bond | 4T | Laminación | 297 | 420 | 296 | 425 | 296 | 424 | -1 | 4 | -0,3 | 1,0 |
| Bond | 4T | Laminación | 297 | 420 | 296 | 426 | 295 | 425 | -2 | 5 | -0,7 | 1,2 |
| Bond | 4T | Laminación | 297 | 420 | 296 | 426 | 296 | 426 | -1 | 6 | -0,3 | 1,4 |
| Torreón | 4T | Total | 419 | 296 | 418 | 305 | 418 | 305 | -1 | 9 | -0,2 | 3,0 |
| Torreón | 4T | Total | 419 | 296 | 419 | 306 | 419 | 306 | 0 | 10 | 0,0 | 3,4 |
| Torreón | 4T | Total | 419 | 296 | 419 | 307 | 419 | 306 | 0 | 10 | 0,0 | 3,4 |
| Torreón | 4T | Perimetral | 418 | 296 | 418 | 305 | 419 | 305 | 1 | 9 | 0,2 | 3,0 |
| Torreón | 4T | Perimetral | 420 | 296 | 419 | 300 | 419 | 304 | -1 | 8 | -0,2 | 2,7 |
| Torreón | 4T | Perimetral | 419 | 297 | 418 | 305 | 418 | 306 | -1 | 9 | -0,2 | 3,0 |
| Torreón | 4T | Laminación | 419 | 296 | 418 | 305 | 417 | 304 | -2 | 8 | -0,5 | 2,7 |
| Torreón | 4T | Laminación | 419 | 296 | 418 | 305 | 418 | 305 | -1 | 9 | -0,2 | 3,0 |
| Torreón | 4T | Laminación | 419 | 296 | 418 | 305 | 418 | 305 | -1 | 9 | -0,2 | 3,0 |

| HIGROEXPANSIVIDAD DESARROLLO EXPERIMENTAL ALMIDÓN | | | PRE | | HÚMEDO | | POST | | Δ ABS (mm) | | % | |
|--|--------|------------|-----|-----|--------|-----|------|-----|------------|----|------|-----|
| PAPEL | ENSAYO | SISTEMA | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Barrera Canson | 12A | Total | 296 | 420 | 295 | 429 | 294 | 427 | -2 | 7 | -0,7 | 1,7 |
| Barrera Canson | 12A | Total | 296 | 420 | 295 | 431 | 295 | 431 | -1 | 11 | -0,3 | 2,6 |
| Barrera Canson | 12A | Total | 296 | 420 | 295 | 432 | 295 | 432 | -1 | 12 | -0,3 | 2,9 |
| Barrera Canson | 12A | Perimetral | 296 | 419 | 295 | 428 | 295 | 426 | -1 | 7 | -0,3 | 1,7 |
| Barrera Canson | 12A | Perimetral | 296 | 420 | 294 | 426 | 294 | 427 | -2 | 7 | -0,7 | 1,7 |
| Barrera Canson | 12A | Perimetral | 295 | 419 | 295 | 427 | 294 | 428 | -1 | 9 | -0,3 | 2,1 |
| Barrera Canson | 12A | Laminación | 295 | 419 | 295 | 430 | 295 | 430 | 0 | 11 | 0,0 | 2,6 |
| Barrera Canson | 12A | Laminación | 297 | 419 | 296 | 428 | 296 | 424 | -1 | 5 | -0,3 | 1,2 |
| Barrera Canson | 12A | Laminación | 296 | 419 | 295 | 426 | 295 | 425 | -1 | 6 | -0,3 | 1,4 |
| Bond | 12A | Total | 297 | 420 | 296 | 425 | 296 | 425 | -1 | 5 | -0,3 | 1,2 |
| Bond | 12A | Total | 297 | 420 | 295 | 426 | 295 | 429 | -2 | 9 | -0,7 | 2,1 |
| Bond | 12A | Total | 297 | 420 | 295 | 425 | 295 | 425 | -2 | 5 | -0,7 | 1,2 |
| Bond | 12A | Perimetral | 297 | 420 | 295 | 425 | 295 | 425 | -2 | 5 | -0,7 | 1,2 |
| Bond | 12A | Perimetral | 296 | 420 | 295 | 425 | 294 | 426 | -2 | 6 | -0,7 | 1,4 |
| Bond | 12A | Perimetral | 297 | 420 | 295 | 426 | 295 | 425 | -2 | 5 | -0,7 | 1,2 |
| Bond | 12A | Laminación | 297 | 420 | 295 | 427 | 295 | 425 | -2 | 5 | -0,7 | 1,2 |
| Bond | 12A | Laminación | 297 | 420 | 295 | 425 | 295 | 424 | -2 | 4 | -0,7 | 1,0 |
| Bond | 12A | Laminación | 297 | 420 | 296 | 425 | 296 | 425 | -1 | 5 | -0,3 | 1,2 |
| Torreón | 12A | Total | 419 | 297 | 417 | 305 | 416 | 300 | -3 | 3 | -0,7 | 1,0 |
| Torreón | 12A | Total | 419 | 296 | 418 | 305 | 417 | 305 | -2 | 9 | -0,5 | 3,0 |
| Torreón | 12A | Total | 417 | 296 | 416 | 305 | 415 | 305 | -2 | 9 | -0,5 | 3,0 |
| Torreón | 12A | Perimetral | 419 | 295 | 415 | 304 | 415 | 304 | -4 | 9 | -1,0 | 3,1 |
| Torreón | 12A | Perimetral | 417 | 296 | 417 | 304 | 414 | 304 | -3 | 8 | -0,7 | 2,7 |
| Torreón | 12A | Perimetral | 419 | 296 | 418 | 305 | 417 | 305 | -2 | 9 | -0,5 | 3,0 |
| Torreón | 12A | Laminación | 419 | 296 | 419 | 306 | 417 | 305 | -2 | 9 | -0,5 | 3,0 |
| Torreón | 12A | Laminación | 419 | 296 | 419 | 305 | 418 | 305 | -1 | 9 | -0,2 | 3,0 |
| Torreón | 12A | Laminación | 419 | 296 | 419 | 304 | 417 | 302 | -2 | 6 | -0,5 | 2,0 |

| HIGROEXPASIVIDAD <i>CANSON GUARRO</i> <i>BASIK</i> | | | PRE | | HÚMEDO | | POST | | Δ ABS (mm) | | % | |
|---|--------|---------|-----|-----|--------|-----|------|-----|------------|----|------|-----|
| PAPEL | ENSAYO | SISTEMA | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Basik 1 | 4T | Total | 420 | 297 | 416 | 303 | 415 | 305 | -5 | 8 | -1,2 | 2,7 |
| Basik 2 | 4T | Total | 419 | 296 | 416 | 303 | 416 | 300 | -3 | 4 | -0,7 | 1,4 |
| Basik 3 | 4T | Total | 419 | 296 | 416 | 303 | 416 | 300 | -3 | 4 | -0,7 | 1,4 |

| PAPEL | ENSAYO | DIMENSIONES ORIGINALES (mm) | VARIACIONES DIMENSIONALES PAPEL BOND Y CANSON GUARRO BASIK POR ALISADOS CON DIFERENTES PRESIONES ¹³⁹ | | | | | | | | | |
|-------|---------------|-----------------------------------|--|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|--------------|------|
| | | | Absolutos (mm) | | | | | | | | Promedio (%) | |
| | | | Muestra 1 | | Muestra 2 | | Muestra 3 | | Muestra 4 | | MD | CD |
| | | | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD | | |
| Bond | Alta presión | 420.5 × 297 | -0'5 | 3 | -1 | 3 | -1 | 3 | -1 | 2'5 | -0'29 | 0'68 |
| Basik | Alta presión | 420 × 297 | -1'5 | 3 | -2 | 2'5 | -1'5 | 3 | -1'5 | 3'5 | -0'38 | 1'01 |
| Bond | Media presión | 420.5 × 297 | -1'5 | 1'5 | -1'5 | 1'5 | -1'5 | 2 | -1'5 | 1'5 | -0'5 | 0'38 |
| Basik | Media presión | 420 × 297 | -2 | 2'5 | -2 | 2'5 | -2 | 2 | -1'5 | 2 | -0'44 | 0'79 |
| Bond | Baja presión | 420 × 297 | -2'5 | 1'5 | -2 | 2 | -2 | 1'5 | -2'5 | 1'5 | -0'53 | 0'54 |
| Basik | Baja presión | 420.5 × 297 | -2 | 0'5 | -2 | 0'5 | -1'5 | 0'5 | -1'5 | 0 | -0'58 | 0'09 |

| HIGROEXPASIVIDAD <i>PERIÓDICO INGLÉS</i> | | | PRE | | HÚMEDO | | POST | | Δ ABS (mm) | | % | |
|--|--------|---------|-----|-----|--------|-----|------|-----|------------|----|------|-----|
| | ENSAYO | SISTEMA | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Periódico 1 | 12A | Total | 570 | 365 | 567 | 382 | 567 | 379 | -3 | 14 | -0,5 | 3,8 |
| Periódico 2 | 12A | Total | 570 | 365 | 566 | 380 | 565 | 380 | -5 | 15 | -0,9 | 4,1 |
| Periódico 3 | 12A | Total | 570 | 365 | 568 | 378 | 566 | 379 | -4 | 14 | -0,7 | 3,8 |

| HIGROEXPASIVIDAD <i>REVISTA FRANCESA</i> <i>DE 1899</i> | | | PRE | | HÚMEDO | | POST | | Δ ABS (mm) | | % | |
|--|--------|---------|-----|-----|--------|-----|------|-----|------------|----|-----|-----|
| | ENSAYO | SISTEMA | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD | MD | CD |
| Lámina 1 | 12A | Total | 420 | 310 | 421 | 315 | 420 | 315 | 0 | 5 | 0,0 | 1,6 |
| Lámina 2 | 12A | Total | 420 | 315 | 422 | 320 | 421 | 320 | 1 | 5 | 0,2 | 1,6 |
| Lámina 3 | 12A | Total | 420 | 315 | 421 | 317 | 420 | 318 | 0 | 3 | 0,0 | 1,0 |
| Lámina 4 | 4T | Total | 420 | 310 | 421 | 320 | 422 | 320 | 2 | 5 | 0,5 | 1,6 |
| Lámina 5 | 4T | Total | 420 | 315 | 420 | 319 | 420 | 320 | 0 | 5 | 0,0 | 1,6 |
| Lámina 6 | 4T | Total | 420 | 315 | 422 | 318 | 421 | 319 | 1 | 4 | 0,2 | 1,3 |

¹³⁹ Datos extraídos de: MUÑOZ, S. *The impact of Conservation Pressure-Flattening on the Dimensions of Machine-Made Paper*. Restaurator. 2009, pp 186-188.