

Capítulo II: El papel

Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.

Isaac Newton

El Papel

El primer capítulo nos introduce en las aplicaciones enzimáticas que existen actualmente en restauración de obras de arte. Tras observar que prácticamente sólo se emplean hidrolasas para la limpieza de obras, se decidió buscar una enzima que pudiese consolidar las fibras de papel sin aplicar ningún material que pudiera perjudicarlas en un futuro (como los adhesivos). Se había visto que existen diferentes tipos de enzimas, así que se pensó que seguramente existiera alguna con la función de restablecer uniones glucosídicas de las fibras de celulosa. No obstante, se tuvo que realizar una búsqueda de la historia, los componentes, las causas de degradación, etc. del papel, para llevar a buen término esta investigación. Este estudio servirá para la comprensión de la naturaleza del papel pero no será realizado en profundidad porque esta tesis se basa en el estudio de enzimas y en la consolidación enzimática.

I Breve historia del papel

I-1 Invención

La invención del papel es atribuida al ministro chino Cai Lun (T'Sai Lun) en el año 105 d.C., que bajo las ordenes del emperador Ho-Ti tenía como objetivo encontrar un soporte para la escritura que fuera de fácil manejo, no abultase mucho, ligero y cómodo de transportar. Para ello retomó un material de abrigo que ya existía, inventado por Han Hsin (247-194 a.C.)^[165]. Este tejido o tipo de papel compuesto por una pasta proteínica, proveniente de trapos de seda desmenuzados, servía como guata entre dos tejidos, para abrigar a la gente que no tenía demasiados medios económicos para costearse tejidos de calidad. Pero, existen descubrimientos que revelan que este soporte fue utilizado como material de escritura unos 100 años a.C. En el desierto de

¹⁶⁵ Descubrimiento (en 1986) en una tumba de la ciudad de Tianshui, Gansu , de fragmentos de papel compuestos por una pasta proteínica del siglo II a.C. COLLINGS, T., MILNER, D., "A New Chronology of Papermaking Technology", *The Paper Conservator* Vol. 14, 1990, pp. 58-59.

Gobi, fue hallado un papel escrito con un pincel muy fino y pintura a base de laca ^[166], pegado sobre tabletas de bambú o madera de tamarindo. Suponemos entonces que T'sai Lun perfecciono la fabricación del papel favoreciendo su desarrollo y haciendo de un soporte ya existente, un material apto para la escritura.

I-2 Su difusión por el mundo

La composición y método de fabricación fue un secreto hasta que en el siglo VIII (año 751), soldados musulmanes apresaron a artesanos papeleros chinos en la batalla de Samarcanda -o batalla de Talas ^[167]-. Los musulmanes tenían orden de no matar a los obreros chinos para poder obligarlos a desvelar el secreto de la fabricación del papel. De esta manera, obtuvieron la tan codiciada receta de este soporte y la expandieron por toda la ruta de la seda -Oriente medio y África del norte- llegando a Europa por España.

Los molinos de papel se fueron construyendo por diferentes ciudades: Samarcanda, Damasco, Bagdad, El Cairo, Sudán, Fez, Melilla, España árabe, Corona de Aragón y Europa.

El primer molino papelerero documentado en España, se sitúa en Játiva, (1056). Pero, diferentes historiadores sostienen que el papel debió de entrar en España por Córdoba y que fue en este lugar donde se construyó el primer molino papelerero. Muchos de los artesanos que trabajaban en estos molinos fueron emigrando a otros países para poder tener material en su lugar de origen, extendiéndose este arte primero por Italia, luego por Francia, etc. A pesar de ello, España tuvo el predominio de la exportación papelerera durante tres siglos.

El primer molino papelerero que se conoce en Italia, se sitúa en Fabriano del 1268-1276, aunque en Palermo (Sicilia) conservan un papel de 1102, lo que hace dudar si puede que en esta ciudad existiera un molino anterior al de Fabriano. En Francia, el primero se ubica en Troyes hacia 1338; en Alemania, en Mayence hacia el 1320; en

¹⁶⁶ VVAA., *Museo-Molino papelerero de Capellades*, 4ª edición, Ed. Museu-Molí Papere de Capellades, Capellades, 1983.

¹⁶⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Batalla_del_Talas y <http://www.futuropasado.com/?p=346>

Bélgica, en el río Lys de Houplines actualmente Lille, en 1389; y en el siglo XIV, podemos encontrar diversas menciones en Bruselas, en los Países Bajos, en suiza y en Inglaterra.

Tras la invención de la imprenta en 1450 por J. Gutenberg, aumentaron las demandas de papel y este desbancó definitivamente el uso del pergamino como soporte de escritura.

Hacia 1670 se crea la pila Holandesa para acelerar y mejorar la elaboración de la pasta.

En 1799, N. L. Robert crea la primera máquina de papel en Francia, que será mejorada posteriormente por los hermanos Fourdrinier y B. Donkin en Inglaterra, en 1806-7.

En 1844 F. Gottlob Keller inventó la pasta de madera mediante procedimientos mecánicos. Hecho este que abarató y a la vez disminuyó la calidad del papel.

A lo largo del siglo XIX la composición y fabricación del papel sufre numerosos cambios. Todos ellos buscan un abaratamiento en el coste de fabricación del papel, como consecuencia de dichos cambios, el papel cambia de composición, resistencia mecánica y aumenta drásticamente su degradación.

Paralelamente a esta difusión del papel por oriente y occidente, hemos de saber que en América intertropical, los mayas y posteriormente los aztecas sabían fabricar una especie de papel, soporte para la escritura, constituido por las cortezas de las higueras y más plantas. En el 660 Huematzin elaboró un códice que trataba de la Tierra y del Cielo. Entre el año 900 y 1000 se escribió el almanaque sagrado de 45 páginas las cuales están en forma de paraviento y posee una cubierta ornamentada con turquesas y jade. Tras huir los mayas de los aztecas, éstos difundieron la fabricación por Honduras, Nicaragua y Perú.



Figura 1. Breviario de Silos. Historia del Papel en España. Diputación provincial de Lugo.

I-3 Papel en España

Teóricamente el papel fue introducido en España por los musulmanes en el siglo XI, pero según lo escrito por el autor árabe-español Ibn-Abdrabbini (860- 940), esto ocurrió a principios del siglo X. Por otra parte, Ibn-al-Abbar o Ben-al-Abbar en su obra titulada “*Takmila*” nos relata que el califa cordobés Al-Hakam II (961-976) protegió al papelero tunecino Ibrahim-ben Salim que vivía en Córdoba y le llamaban el “papelero africano”. Este califa que gobernaba en el al-Ándalus en el siglo X, amaba los libros y creó una biblioteca de 400.000 volúmenes en Córdoba. Para ello necesitó escribanos, copistas y por supuesto un soporte económico: el papel. Por esta razón no es tan descabellado suponer que existieran molinos papeleros en Córdoba, bajo el puente romano aprovechando unos molinos de trigo^[168].

A pesar de estos relatos, el papel más antiguo de Europa, se encuentra en el Monasterio de Santo Domingo de Silos y es el Misal mozárabe (1040-50). Éste códice de 159 hojas es titulado *Breviarum et missale Mozarabicum*^{[169][170]} o como aparece en el catálogo de la Abadía de Silos (XVII) “Misal Toledano” de pergamino de trapo.

A partir del siglo XI está documentado que la fabricación del papel era realizada en Xátiva, famosa por su calidad del papel. El escritor árabe El Edrisí testimonió en sus escritos que los papeles fabricados en Xátiva eran exportados a oriente y a occidente, y los fabricantes de papel eran protegidos según unas ordenanzas árabes, para salvaguardar la calidad del lino de dicha ciudad y por consiguiente de sus papeles.

¹⁶⁸ GAYOSO CARRIRA, G., *Historia del papel en España* Tomo1, Ed. servicio publicaciones diputación provincial de Lugo, Lugo, 1994. pp.13-22

¹⁶⁹ RUIZ LASALA, I., *De la piedra al papel pasando por el papiro, el pergamino y la vitela*, Ed. Gobierno de Aragón, Zaragoza, 2008, pp. 30-31, 37-46.

¹⁷⁰ VIVANCOS GOMEZ, M., *Glosas y notas marginales de los manuscritos visigóticos del monasterio de santo domingo de silos*, Ed. Studia silensia XIX, abadía de silos, Burgos, 1996.

II Composición del papel

II-1 Materia prima –las fibras–

El papel fabricado en China antes del año 105 d.C., estaba compuesto por fragmentos de tela o de hebras de seda de los capullos de los gusanos que quedaban una vez lavados. Posteriormente a ese año, comenzaron a utilizar diferentes materiales como cortezas de plantas (gampi ^[171], kozo, mitsumata, etc.), redes de pesca inservibles y velas de barcos, cortezas de madera, fibras de bambú, desechos de trapos, ropa de lino, cáñamo y ramio (ésta última es una hierba china que fue muy empleada para vestir, debido a sus fibras finas, resistentes y de aspecto brillante).

Los musulmanes variaron y mejoraron la composición del papel para disminuir el coste de fabricación. Las fibras empleadas eran mezclas de lino, cáñamo y raramente algodón. Gracias a esto, conseguían que el papel fuera más ligero, menos rugoso y más barato que el pergamino. En el tratado árabe “Umdar al-Kuttab” (1025) ^[172], la elaboración del papel sólo se realizaba mediante el uso del cáñamo. Pero gracias a análisis microscópicos, se han encontrado fibras de ramio, lo que nos deja entender que reciclaron papeles de la época de Tsai-Lun. No obstante, hemos de añadir que la composición del papel dependía de los recursos de cada lugar.

En España y más tarde en el resto de Europa, se utilizarán las fibras vegetales de los trapos de lino, cáñamo o esparto, llamándolos por esta razón papeles de trapo. El lino era muy abundante en el Levante de la Península y debido a su aspecto esponjoso se le llamaba “papel de algodón”. Pero, hasta el siglo XVIII, el algodón no fue un componente primordial.

A partir de la invención de la imprenta por J. Gutenberg en el año 1450, surgieron problemas de abastecimiento, lo que provocó que se optara por la utilización de plantas y por último también madera, en el siglo XIX.

¹⁷¹ De esta planta sólo se utiliza la corteza. Es difícil de cultivar por su crecimiento lento por lo que se recurría a recolectarla del bosque. Contiene una sustancia viscosa el mucilago. <http://www.virtualginza.com/washiplant.htm>

¹⁷² GAYOSO CARRIRA, G., *Historia del papel en España* Tomo1, Ed. servicio publicaciones diputación provincial de Lugo, Lugo, 1994. pp.13-22

En la actualidad, los papeles pueden estar compuestos por fibras de sisal, yute, cáñamo, lino y algodón. Estos papeles son de mayor calidad que los de madera porque poseen una alta pureza química, un alto grado de polimerización y una gran resistencia. No obstante, la gran mayoría de los papeles que podemos encontrar en el mercado, están realizados a partir de fibras de madera.

Las fibras de madera que componen muchos de los papeles existentes en el mercado son:

- 1- Las fibras de las coníferas (abeto, ciprés, pino, etc.) que tienen las fibras largas, resistentes y con un alto grado de polimerización ^[173].
- 2- Las fibras de maderas duras (álamo, eucalipto, etc.) que poseen fibras cortas, un grado de polimerización bajo, elementos parenquimatosos y un alto contenido de hemicelulosas.

Las fibras de plantas están compuestas por celulosa (alfa-celulosa y beta-celulosa) y hemicelulosas, y las de madera tienen además otras impurezas como la lignina, pectinas, trazas de resina, taninos, compuestos carbohidratados y ceras. A causa de estos compuestos, las fibras de papel se degradan más rápidamente y disminuyen el grado de polimerización de la celulosa. Por este motivo, es recomendable emplear los papeles compuestos por fibras vegetales.

II-2 Encolantes

La función de los adhesivos es dar resistencia y solidez al papel, mejorar la apariencia y por otra parte, permite la escritura al evitar que la naturaleza hidrófila del papel absorba y difunda las tintas, manteniéndolas en superficie.

T'sai Lun añadió una sustancia gelatinosa que se produce al hervir las algas agar-agar. Este gel se unía a las fibras de seda creando un papel resistente, flexible e impermeable, apto para la escritura. Más tarde fueron añadidas el norio y el tororo

¹⁷³ El Grado de polimerización: n indica cuántas unidades repetitivas se encuentran en un polímero. Se suele indicar este número con una n al final de los corchetes que indican la unidad monomérica. (http://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_polimerizaci%C3%B3n)

^[174], que eran materiales unificadores y protegían las fibras y evitaban que enmoheciesen.

Los musulmanes utilizaban como encolante, la cola vegetal de almidón de arroz ^[175] que posteriormente se empleó también por toda Europa.

Más tarde, en 1337 en Fabriano, se sustituyó este apresto por gelatina ^[176]. Este adhesivo de origen animal se obtenía haciendo hervir desechos de pieles, curtidos o menudillos de diversos animales. Este encolante se conocía como “alum de roca” (porque debido a la poca atracción de la celulosa con esta gelatina se añadía sulfato de alúmina) ^[177].

El alumbre fue utilizado por primera vez en el siglo XVII ^[178]. Esta sustancia se añadía a la gelatina para estabilizar la viscosidad del adhesivo a diferentes concentraciones y temperaturas e, impedir aún más que la tinta penetrase en el papel. También se decía que daba más cuerpo y rigidez al papel. En el siglo XIX se usó el alumbre como un reactivo del apresto, y era una sal de ácido sulfúrico (sulfato de aluminio potásico). Su reacción resultaba ácida y perjudicial para el papel. En 1880 el alumbre se sustituyó por el sulfato de aluminio ^[179].

En el siglo XIX (1806), se introduce el apresto vegetal de colofonia que era extraído del tronco del árbol al hacer “sangrar” los pinos. Estas resinas contienen ácidos de base terpénica como el ácido abiótico, haciéndose solubles en agua, gracias a la sal de sodio precipitado bajo la acción del sulfato doble mínimo y potasio. El problema de este encolante es que acidifica el papel ^[180].

Las resinas sintéticas comenzaron a emplearse a raíz de conseguir en 1935, aumentar la resistencia del papel en estado húmedo. Para conseguir esto, aplicaban resinas de

¹⁷⁴ VVAA., *Museo-Molino papelero de Capellades*, 4ª edición, Ed. Museu-Molí Papere de Capellades, Capellades, 1983. p. 22

¹⁷⁵ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p. 19.

¹⁷⁶ COPEDÉ, M., *La carta e il suo degrado*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, pp. 24-26.

¹⁷⁷ VVAA., *Museo-Molino papelero de Capellades*, 4ª edición, Ed. Museu-Molí Papere de Capellades, Capellades, 1983, p.34.

¹⁷⁸ Aparece en un manual en 1634. RODRIGUEZ LASO, M.D., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica, Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, 2004, Bilbao, p. 15.

¹⁷⁹ 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

¹⁸⁰ RODRIGUEZ LASO, M.D., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, 1999, Bilbao, p. 41.

urea-formaldehído sobre la superficie. En 1942, acrecentaron la resistencia del papel con la introducción durante el refinado, de la resina melamina- formaldehído ^[181] y, en 1950 W.J. Barrow recomienda por primera vez, utilizar un encolante neutro. Actualmente se aplican resinas sintéticas y éteres de celulosa.

II-3 Las Cargas

Las cargas se utilizan para dotar al papel más opacidad, blancura y homogeneidad del color, mejorando así las propiedades ópticas ^[182]. También sirven para dar mayor flexibilidad y estabilidad dimensional de algunos papeles, e incluso abaratar el coste de la producción. Además rellenan las irregularidades de la superficie para mejorar la imprimación. Pero su presencia disminuye la resistencia mecánica porque se sitúan entre las uniones de las fibrillas de la celulosa.

El caolín (silicato hidratado de aluminio) fue descubierto en Inglaterra en 1733, pero hasta el siglo XIX no se empezó a utilizar. En 1823, el yeso (sulfato de calcio) se empleó por primera vez como carga. Otras cargas utilizadas hoy en día son el talco (silicato de magnesio), la tiza (carbonato de calcio), óxido de titanio, el carbonato de calcio artificial y el sulfato de bario.

II-4 Blanqueantes

El blanqueante que era usado en la Edad Media era la cal. Este sistema fue introducido por los musulmanes.

También podemos encontrar los restos de los blanqueantes y limpiadores utilizados para blanquear la pasta y suprimir la suciedad, como la sosa cáustica y la cal.

¹⁸¹ “La melamina es un trímero (está constituida por tres moléculas iguales) de cianamida, formando un heterociclo aromático que puede reaccionar con el formaldehído, dando la resina melamina-formaldehído.” www.tesisymonografias.net/melamina-formaldehido

¹⁸² 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. y RODRIGUEZ LASO, M.D., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, 1999, Bilbao, pp. 41 y 42.

Algunos países no utilizaban la cal porque habían notado que ésta degradaba la pulpa.

En 1774, K. Sheel descubrió el cloro. La pulpa era bien lavada después de este tratamiento, pero a pesar de esto, algunos restos de cloro permanecían en la pulpa, oxidando y deteriorando el papel.

Hasta el siglo XIX no se generalizó el blanqueo del papel con productos clorados estables como el hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ y el hipoclorito de sodio NaOCl (lejía). Después de la segunda guerra mundial aparecieron los peróxidos H_2O_2 y también los reductores como el hidrosulfito o ditonito (dithionite) de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$).

II-5 Tintas

La tinta creada en China fue introducida en Europa y mejorada por los musulmanes. En la Edad Media eran empleadas dos tintas: las de carbón y las metaloácidas. En Oriente –Asia y Próximo Oriente- se usaban las de carbón; en Oriente Medio y norte de África ambas y en Europa Occidental las ferro-gálicas ^[183]. Según la época y lugar, la composición de las tintas variaba ^[184]. Las ferro-gálicas ^[185] en el mundo andalusí y países mediterráneos tenían en común agallas, agua, goma y vitriolo ^[186]. Las agallas ^[187] se empleaban para obtener el colorante negro. Solían cocer y macerar las nueces de agallas para conseguir el negro de sus taninos vegetales. La goma arábica era empleada para impedir que la tinta se resecase. Aportaba viscosidad para mantener en suspensión otras sustancias y de esta manera hacía más fácil la escritura. El vitriolo era un mordiente usado para fijar la tinta. Estaba compuesto por sulfato de diversos metales. Según los gustos de cada escriba, solían añadir diferentes componentes para dar a la tinta diferentes características; las cáscaras de granada y/o

¹⁸³ VVAA., *El soporte de la lengua*, Ed. Patronato Santa María le Real de Nájera, IPHE, Logroño, 2006, p. 147

¹⁸⁴ ZERDOUN BAT-YEHOUDA, M., *Les encres noires au moyen âge*, Ed. CNRS, Paris, 1983, pp. 123-143

¹⁸⁵ También se les puede llamar ferrotánicas, metalotánicas, metalogálicas o metaloácidas.

¹⁸⁶ Descripción dada en el libro “Contemplació en Deu” de Ramón Llull escrito en 1272-74

¹⁸⁷ Las agallas de robles de Alepo eran de gran calidad.

nuez, azúcar, alumbre, vidrio triturado y tinta de carbón u otro colorante (índigo) son algunos de ellos.

Existen relaciones entre el color de la tinta, su procedencia y época de fabricación. La siguiente tabla resume los datos proporcionados por Kroustallis de diferentes autores ^[188]:

Procedencia	Época	Color de la tinta
EUROPA CONTINENTAL	Siglos IV-VI	Tono marrón amarillento o marrón oliva
	A partir del siglo VII	Marrón
	Siglo VIII (puntualmente)	Tono verdoso
ITALIA		Tono grisáceo o amarillento
	XV y XVI	Matiz verdoso ^[189]
Irlandeses, anglo sajones, Baja Alemania zonas de influencia insular		Tono gris oscuro o marrón oscuro
SUR DE EUROPA		Tinta más negra
ESPAÑA	Siglos XIV y XV	El Tono más negro ^[190]

Tabla 1 Tonalidad de las tintas según época y procedencia

¹⁸⁸ Tabla realizada a partir de los datos extraídos de KROUTALLIS, S., p. 147-148 y BISCHOFF, *Paléographie. De l'antiquité romaine et du moyen âge occidental*, Grans Maruels Picard, Paris, 1985, pp. 23-24.

¹⁸⁹ Dato extraído del artículo de KROUSTALLIS y que hace referencia a RUIZ GARCÍA, E., p. 98

¹⁹⁰ Y otro dato más del autor CARVALHO, D., *Forty Centuries of ink*, New York, p.7.

En los textos árabes era común utilizar tintas de colores para subrayar, resaltar o enriquecer algunos textos. Los pigmentos de estas tintas eran semejantes a los empleados para teñir alfombras y tejidos de seda. Siendo los colorantes vegetales los más usados en la Edad Media.

Colorantes Color	Composición /origen vegetal	uso
rojo	Rubia (planta)	Tintura tejidos
	Hiedra (planta)	Laca roja
	Palo de Brasil (planta)	Tintorerías y laca para pintar
	Sangre de dragón (planta)	Tintorerías
Rojo- morado azulado	Folium o tornasole (planta)	Iluminadores medievales. Su color variaba dependiendo de su alcalinidad.
azul	Índigo (planta) Pastel (planta)	Tintorerías
amarillo	Azafrán (planta)	Tintorería, prácticas pictóricas
	Celidonia (planta)	En algunos procesos de imitación de crisografía
Amarillo verdoso	Gualda (planta)	Laca en iluminación de manuscritos
verde	Suco (Diferentes plantas)	Tintorerías
Colorantes	Origen animal	Uso
rojo	Púrpura -de moluscos-	Alto coste, en Bizancio lo usaban para firma de emperadores
rojo	Quermes (insectos: coccus ilicis)	
amarillo	Hiel de animales	Imitación de la crisografía

Tabla 2 Colorantes de origen vegetal y animal

Tintas de color	Pigmentos/composición mineral	Uso
Rojas	Minio (óxido de plomo de color rojizo anaranjado)	Principal, letras iniciales, títulos, resaltar un texto importante.
	Cinabrio (mineral de sulfuro de mercurio o mercurio y sulfuro)	
Azules	Lapislázuli: tenía un alto precio lo reservaban para obras de gran lujo y su uso era excepcional	
	Azurita (carbonato de cobre)	
Blancas	Cerusa (carbonato de plomo)	Fines ornamentales
Amarillas	Oropimente (arsénico y azufre)	Fines ornamentales. Uso venenoso e incompatible con parte de los pigmentos y colorantes
verdes	Verdigrís o cardenillo (acetato de cobre)	Fines ornamentales. Se desaconsejaba por ser muy corrosivo e incompatible con pigmentos como la cerusa u oropimente.

Tabla 3. Tintas

Pigmentos industriales	Fecha de utilización	Pigmentos industriales	Fecha de utilización
Azul de Prusia	1720	Amarillo de cadmio	1846
Blanco cinc	1781	Aureolina o amarillo de cobalto	1861
Amarillo de cromo	1797	Verde óxido de cromo	1861
Azul cobalto	1820	Azul cerúleo	1861
Verde veronés	1820	Rojo puro	1871
Ultramar artificial	1828	Rojo litol	1895
Verde cobalto	1835	Blanco de titanio	1920

Tabla4. Pigmentos más recientes ^[191]

¹⁹¹ GOMEZ, M^a L., *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, Ed. Cátedra, Madrid, 2004, p. 228.

Recientemente encontramos colorantes y pigmentos que son añadidos a la pulpa del papel para dar un efecto más blanco a la hoja y bajar la intensidad del color amarillo. Suelen ser pigmentos o colorantes azules-(violeta o rosados), o productos sintéticos que transforman parte de los rayos ultravioletas invisibles del espectro, en rayos azules visibles.

III Fabricación del papel

III.1 Técnicas de fabricación

III.1 Fabricación del papel en la Edad Media

Los musulmanes introdujeron mejoras técnicas como la utilización de la energía hidráulica en los molinos, variaron la composición del papel y perfeccionaron la forma papelera ^[192]. Todo ello, con el fin de disminuir el coste de fabricación y producir en grandes cantidades.

En Europa, los trapos o fibras seleccionados eran fermentados en tinajas o pudrideros llenos de agua. Posteriormente se trituraban en unas cubetas mediante el uso de mazas metálicas o batanes accionados hidráulicamente por máquinas, mientras un chorro de agua constante ayudaba a la completa trituración ^[193]. De esta manera se conseguía una pasta densa. El proceso de maceración se repetía hasta obtener la homogeneidad y finura deseadas. Una vez obtenida la pasta deseada, un primer operario introducía la forma o tamiz ^[194] en la tina y al sacarla, sacudía

¹⁹² Los manuscritos árabes en España y Marruecos, p. 295.

http://books.google.es/books?id=GOD2FfTuFw0C&pg=PA300&lpg=PA300&dq=tinta+metalograf%C3%A1licas&source=bl&ots=dynpOk_Y6O&sig=w1Qk1sV6UEjX1GanqK06dITTLlw&hl=es&ei=TkqeSt3ZAc7B-QbwpvDaCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5#v=onepage&q=&f=false

¹⁹³ Según algunos estudiosos, en los papeles españoles de esa época podemos hallar sobre la superficie hebras de hilos visibles y su grosor puede variar de 400 a 3000 micras. Y al trasluz vemos las formas de verjurado irregular: corondeles poco tensados y puntizones poco marcados. En España la trituración de los trapos se realizaba mediante las muelas de molinos harineros o de aceite, separando irregularmente las fibras y provocando que éstas resultaran ásperas, flácidas y de hidratación escasa.

¹⁹⁴ La forma o tamiz estaba constituida por una tela metálica y un marco postizo de altura diferente según el grosor de la hoja que se desease. En china la forma se fabricaba con cañas de bambú.

enérgicamente en varias direcciones para entrelazar las fibras y escurrir el agua, consiguiendo un estrato de pasta uniforme. Un segundo operario vaciaba la forma y depositaba entre filtros de lana, el nuevo papel formado, creando pilas de altura regular. Un tercer obrero prensaba los folios para exprimir el agua del papel y posteriormente los secaban en tendedores, pasándolos al baño de cola y gelatina. Se volvían a prensar y se dejaban secar al aire libre. Una vez secos se aplanaba y alisaban.

III.1.1 La filigrana

Durante el siglo XIII el molde chino fue reemplazado por una malla metálica (finos alambres sujetos por otros más gruesos transversales). De esta manera se conseguía un papel más fino y con una marca al agua que se podía ver a contraluz, llamada “vergé” o “verjurado” ^[195]. Pronto la adornarían con dibujos, nombres, símbolos...que se convertiría en símbolo de la fábrica y símbolo de calidad del papel ^[196].

No se sabe a ciencia cierta si fue en Bolonia o en Fabriano donde se inventó la filigrana. Lo cierto es que

Bolonia posee un papel datado en 1282 con una cruz griega. En España tuvimos que esperar hasta el principio del siglo XIV para ver aparecer la filigrana.

Dibujos: al principio los dibujos eran toscos y solían ser animales: toros, corderos, águilas, palomas...; partes de animales o del cuerpo: corazones manos, cabezas, etc.; objetos: campanas, anclas; círculos, cruces, estrellas y otros emblemas. Más adelante aparecerían letras ^[197, 198].

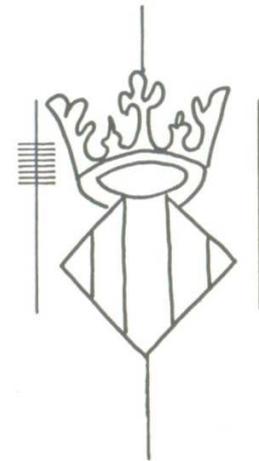


Fig. 2 Filigrana Catalana 1443 reproducidas en “Paper and watermarks in Catalonia” Oriol Valls

¹⁹⁵ es posible ver unas líneas translucidas donde la hoja ha recibido menos pulpa cuando se pone la hoja a trasluz, estas líneas se llaman verjurado.

¹⁹⁶ Base de datos de filigranas: <http://www.ksbm.oeaw.ac.at/wz/wzma.php>, www.paperhistory.org, <http://www.bernstein.oeaw.ac.at/>

¹⁹⁷ Historia del papel p. 31 GAYOSO CARRIRA, G., Historia del papel en España Tomo1, Ed. servicio publicaciones diputación provincial de Lugo, Lugo, 1994.

¹⁹⁸ BRIQUET, C., *Les filigranes : dictionnaire historique des marques du papier*, 1991.

III.2 Fabricación manual actual. Caso práctico en una empresa papelera.

La fabricación manual actual no dista demasiado de cómo era antiguamente. Para conocer cómo se realiza actualmente un papel hecho a mano, nos acercamos a una fábrica ubicada en el municipio de Hondarribia (Guipúzcoa), que se llama Paperki y existe desde hace 25 años ^[199]. Su producción se ha visto reducida en estos últimos años por motivos personales de los propietarios. No obstante, permanecen con una pequeña producción de folios.

III.2.1 Fibras

En primer lugar, nos explicaron que las fibras que suelen emplear son el algodón y el lino. Estas fibras vegetales son las que se consiguen con más facilidad en España y que aunque no son las más óptimas, son las que más longevidad confieren al papel en nuestro territorio. Cada una va a aportar al papel una serie de características que la otra no tiene, sirviendo así para diferentes técnicas específicas. Pero en la práctica los artistas no se ciñen a las normas establecidas, sino que escogen lo más adecuado para cada trabajo según los efectos que persigan. Por esta razón esta empresa a veces está obligada a realizar el papel con las características precisas requeridas que le pida el artista.

Las fibras celulósicas que manipulan las compran ya tratadas por las siguientes razones:

- Para que la producción de papel sea rentable
- Porque el blanqueo contamina mucho y necesitarían una depuradora y otros materiales que no poseen.
- Porque la ASTM ^[200] les exige que los papeles posean una serie de características.

¹⁹⁹ Actualmente, esta empresa ha limitado mucho su fabricación de papeles. Esta visita y estudio se realizó antes de esta disminución de la producción.

²⁰⁰ Al principio era la “American Society for Testing and Materials” y ahora es una asociación internacional de normas

- pH de los papeles

Los papeles de obras de arte según la ASTM, tienen que estar libres de ácidos, con un pH neutro, etc. Por lo tanto, los fabricantes llevan a cabo un control exhaustivo de los compuestos y materiales empleados para la fabricación de papel. Por ejemplo el agua debe estar limpia, libre de iones ferrosos o sales de hierro, libre de grasas, de metales, de lejía, tampoco tiene que tener mucha cal o cloro para que no se coman los colores, etc.

III.2.2 Encolantes

Los materiales utilizados para el encolado son químicos porque las colas animales que se empleaban antiguamente favorecían la aparición de hongos, bacterias e insectos.

El encolado, en esta empresa, es realizado en frío porque no varía el pH de sus papeles. Suelen trabajar a un pH entre 7,5 y 8, si no lo hacen, deben proteger el papel con una reserva alcalina porque las fibras y algunas colas se van acidificando con el tiempo.

III.2.3 Tampones

El buffer o tampón utilizado sería una reserva alcalina de carbonato de manganeso o sodio. Ésta se puede moler, transformándola en granos finos o precipitarla químicamente haciendo que el tamaño de las moléculas sea mucho más pequeño y queden en las fibras. Su función es neutralizar el efecto de restos de cloro o algún sulfato -que puede venir en el agua o en productos de limpieza-, cuando hay humedad. Las fibras son higroscópicas y no se comportan de la misma manera a nivel del mar donde la humedad ronda el 95% que en África donde la humedad es de 25-30%. Los problemas que se generan por la humedad suelen ser además la aparición de hongos y bacterias.

Los agentes contaminantes del aire como óxidos nitrosos o sulfurosos afectan también al papel y hacen necesaria la reserva alcalina.

III.2.4 Fungicidas

En Paperki suelen evitar la utilización de fungicidas por ser tóxicos y peligrosos para la salud del que los manipula. Aunque algunos museos les exigen fungistáticos para evitar cualquier ataque de hongos, la mayoría de las veces no son necesarios porque esta empresa les garantiza que el papel va a tener una longevidad óptima según las normas de calidad de la ASTM.

III.2.5 Cargas

Por otra parte, en esta empresa sólo utilizan cargas bajo encargo para papeles que se destinan a museos, para restauración, para fotografía, etc.

III.2.6 Pigmentos

Los pigmentos son minerales, ya que resisten más que otros la luz solar. Son pigmentos sólidos que se fijan por diferentes cargas eléctricas.

III.2.7 Moldes o marcos de producción utilizados en esta fábrica:

Los moldes para fabricar papel están constituidos por una estructura rectangular con unas costillas y dos tipos de redes. Es necesario tener dos tipos de mallas para que el agua salga homogéneamente por toda la red. La primera, más fina, estará en contacto con la pulpa de papel y la segunda, más amplia, que sirve para el desgote del agua, tiene forma de media caña (el alambre es plano, no redondo) y estará en contacto con las costillas del marco.

Las costillas tienen forma triangular. La parte puntiaguda estará en contacto con la malla más gruesa para que el agua fluya más fácilmente debido a los gradientes y no se oponga a la salida del agua. De esta manera no dejará marcas en el papel (sería una especie de verjurado).

El material de las mallas no debe oxidar. Se puede emplear incluso una alambrada de plástico, pero nunca deberá ser de aluminio ya que éste puede ser disuelto por los álcalis y los ácidos.

Las mallas estarán pegadas al marco con silicona para que no transfieran restos de óxido al papel. Antiguamente se utilizaban clavos pero estos oxidaban y podían transmitir al papel elementos no deseados. El siguiente esquema nos muestra las diferentes partes de un marco:



Figura 1. Fotografía de dos moldes de diferente tamaño.

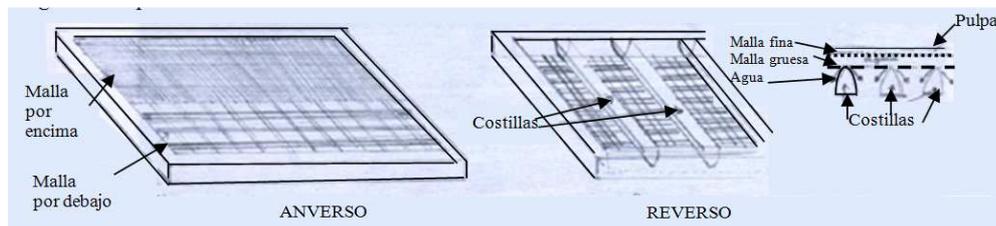


Figura 2. Esquema de un molde

III.2.8 Filigrana

En Paperki, también realizan filigranas, pero no como antiguamente, sino con moldes como se ve en las fotografías n° 3 y 4. Josefo, dueño de la empresa, diseñador industrial e ingeniero químico, ha creado su propio método para hacer las marcas al agua perfectas y ahorrar tiempo: primero crea un molde y luego lo adhiere a la malla. El papel posee varias marcas a parte de la filigrana como puede ser las barbas o el verjurado que son marcas de la malla e incluso las marcas de las mantas.



Figuras 3 y 4. Molde adherido a la malla que dará como resultado la marca al agua del papel.

III.2.9 Fases en la realización del papel

La primera fase es el refinado ^[201] del papel. Se trata de realizar el engrase ^[202] sin que sea muy exagerado, de lo contrario al hidratarse exageradamente estas fibras pueden formar una gelatina que impide que el agua escurra. Esta etapa es importante porque el tamaño de la fibra condiciona el tiempo de desgote y el aspecto final del papel. Para esta operación se puede emplear la pila Holandesa [Figuras 5 y 6].



Figuras 5 y 6. Fotografías de una pila holandesa.

Después estas fibras se recogen y se dejan en bidones. Más tarde dependiendo de la cantidad de celulosa que deberá poseer el papel, se pasan las fibras a las tinas agitadoras y se echa una determinada cantidad de agua. En esta fase lo importante es

²⁰¹ Antiguamente también se le llamaba bateo del papel.

²⁰² Es un término papelerero: Se trata de cortar y frotar una fibra para hidratarla y esponjarla.

que no se produzcan nudos en las fibras ya que éstos se notarían inevitablemente en el papel.

Estas tinas sirven para que todos los papeles de una tirada tengan la misma proporción de fibras. Los agitadores se activan y distribuyen las fibras homogéneamente por toda la bañera.



Figuras 7 y 8. Fotografías de unas tinas agitadoras.

El siguiente paso es sumergir el molde y recoger una delgada película de pasta que se depositará sobre la malla. El bastidor debe ser movido en todos los sentidos para que las fibras se entrelacen y el papel quede mucho más resistente. Posteriormente el molde se deja quieto para que vaya filtrando el agua y el papel tenga suficiente cohesión para poder retirarlo del bastidor de madera.



Figuras 9,10 y 11. Fotografías de los diferentes pasos a seguir en la fabricación de papel.

Una vez retirado el bastidor se puede colocar suavemente el papel sobre papel secante o fieltros mojados [Figuras 12 y 13]. Si se colocan sobre papel secante el papel pierde rápidamente el agua y se puede quitar al poco rato. Pero si se pone sobre fieltros, estos deben estar mojados sino el papel mojado no se fijará sobre el fieltro y posiblemente se rompa el papel.



Figura 12 (izquierda). Hoja de papel sobre papel secante
Figura 13 (derecha). Papel sobre fieltro

Esta operación se repite hasta crear una pila de papeles y fieltros (o mantas) intercalados. En algunas ocasiones se pueden poner incluso diferentes telas entre los papeles. Una vez apilados, los papeles van perdiendo el agua por los fieltros.



Figura 14 (izquierda). Pila de papeles intercaladas con fieltros y telas.
Figura 15 (derecha). Prensa hidráulica

Posteriormente, las pilas de papeles se prensan con una prensa hidráulica para perder la mayor parte de agua que permanece aún en el papel. Este proceso se repite (a

veces sin filtros) diversas veces variando el orden y la posición de las hojas. La repetición de esta acción se denomina intercambio, y mejora el aspecto del papel. Por último, las hojas (prensadas o no) se dejan secar en un secadero donde la temperatura es mucho más elevada que en el resto del recinto. Las hojas se cuelgan mediante pinzas en cuerdas, sin doblarlas (como se hacía antiguamente) para que no quede ninguna marca.



Figura 16. Vista de las hojas colgadas en el secadero

III.3 Fabricación industrial

El primer instrumento que ayudó a la industrialización de la producción papelera fue la pila holandesa, inventada en 1670. Esta máquina poseía un cilindro con lamas donde circulaba la pasta de papel [figura 5 y 6] y conseguía refinar e hidratar las fibras de celulosa mucho más rápido que con los métodos anteriores ^[203 y 204]. Esta invención ayudó a obtener más rápidamente una pasta de papel más blanca y de mejor calidad. Además evitaba la etapa donde se debía dejar el papel a remojo.

Posteriormente, el francés N.L. Robert inventó en 1799, la primera máquina fabricadora de papel continuo. Esta máquina estaba constituida por palas que se introducían en una cubeta de la máquina, sacaban una cantidad de pasta y la depositaban sobre una malla. Ésta imitaba los movimientos o sacudidas del papelero para escurrir el agua. Posteriormente esta pasta pasaba entre dos cilindros para

²⁰³ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p.23.

²⁰⁴ RODRIGUEZ LASO, M.D., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 1999, pp. 45-46.

expulsar el agua de la pasta, como se haría con una prensa, y el papel (hasta 12 metros de papel continuo) se iba enrollando en una bobina.

Esta máquina fue posteriormente modificada y mejorada por el ingeniero Bryan Donkin en Inglaterra, hacia el año 1803, gracias a un concurso de los hermanos Foudrinier ^[205].

En 1822 el mismo Donkin añadió a la máquina unos cilindros de cobre para poder secar más rápidamente la tira de papel de la malla o cinta. Al principio esto se conseguía calentando con un fuego directo y posteriormente con vapor.

Más tarde, Canson, en Francia, puso debajo de la malla un sistema aspirador que acrecentaba la extracción de agua de la pasta de papel y aumentó también la velocidad de producción de papel.

La fabricación actual del papel es básicamente como la máquina de N.L. Robert pero mejorada. Actualmente, han perfeccionado todos los mecanismos para aumentar el rendimiento de la producción y dotar al papel las características deseadas ^[206].

III.3.1 Pasta de madera

La pasta de madera se inventó cuando el aumento de la demanda de papel de trapos provocó la escasez de la materia prima y fue necesario encontrar una alternativa.

Se creó un nuevo sistema que consistía en desfibrar la madera, triturándola en un medio acuoso. En 1867 Voelter industrializó esta técnica pero esta pasta contenía elementos inútiles, así que se inventaron diferentes métodos químicos para eliminarlos ^[207].

- H. Burgess y C. Watt patentaron el sistema con sosa en 1854.
- Tilgham inventó el proceso de bisulfito.
- C. F. Dahl creó el procedimiento con sulfato que permitió la producción de papeles extremadamente resistentes: Los Kraft.

²⁰⁵ COPEDÉ, M., *La carta e il suo degrade*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, p. 30.

²⁰⁶ COPEDÉ, M., *La carta e il suo degrade*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, p. 32.

²⁰⁷ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p. 24-25.

Actualmente existen tres procedimientos para la obtención de pasta de madera como materia prima obteniendo: La pasta mecánica, la pasta química y la pasta mixta (pasta semi-química o química-mecánica).

III.3.1.1 La pasta mecánica

Esta pasta se produce lavando en primer lugar la madera, para eliminar posibles partículas adheridas a esta misma y seguidamente, se separa del tronco del árbol, la corteza ^[208] y los nudos porque éstos últimos, contienen impurezas como la hemicelulosa, lignina, taninos, resinas y gomas naturales^[209]. De esta manera se obtiene un papel sin puntos negros.

Posteriormente la madera es triturada mecánicamente en presencia de agua, por medio de elementos abrasivos para conseguir astillas de dimensiones uniformes y, se introduce en la pila holandesa para seguir desfibrilándola^[210] y formar la pasta. El calor producido por el frotamiento calienta el agua y ablanda la lignina permitiendo la separación de las fibras de celulosa.

Este proceso produce unas fibras baratas, cortas, irregulares con lignina, de baja resistencia mecánica y con una opacidad alta. El rendimiento de esta pasta es elevado (90-95%). Esta pasta es empleada para fabricar productos de papel de baja calidad como por ejemplo cartones aunque también se utiliza para el papel de periódico mezclado con pasta química (80% de pasta mecánica y 20% de pasta química) ^[211, 212 y 213].

²⁰⁸ La cantidad de corteza debe ser mínima porque debilita la pasta de papel.

²⁰⁹ COPÉDÉ, M., *La carta e il suo degrado*, Ed. Nardini, Firenze, 1995, p. 39.

²¹⁰ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p. 5.

²¹¹ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p. 25.

²¹² RODRIGUEZ LASO, M.D., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 1999, p. 49.

²¹³ BANIK, G., CREMONESI, P., et al. *Nuove Metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, Ed. il prato, Padova, 2003, p.14.

III.3.1.2 Pasta química

La pasta química se obtiene tratando la madera con sustancias químicas. Los elementos de celulosa se disocian de la lignina u otras sustancias extrañas, con agentes químicos, a una temperatura de 120-170°C y a una presión elevada ^[214]. Los reactivos empleados pueden ser ácidos (bisulfito de calcio, magnesio, amonio o sodio) o alcalinos (sulfato de sodio, cal, proceso *Kraft*) ^[215,216], siendo los métodos de sulfato y bisulfito los más extendidos. De estos métodos se obtiene una pasta apta para fabricar papeles resistentes, aptos para la stampa y escritura. El mayor inconveniente es que el rendimiento de estos métodos es más bien bajo, del orden del 45 al 55% de materia seca del peso inicial de la madera ^[217]. Por último este tipo de papeles suelen ser blanqueados con oxidantes químicos como por ejemplo el cloro.

- Método con bisulfito:

Este sistema fue inventado por Tilghman en 1867 pero fueron el sueco Ekman y el alemán Mitscherlich quienes lo pusieron en práctica. Posteriormente Ritter y Kellner mejoraron esta técnica. El objetivo principal es eliminar la lignina y sustancias no deseadas con calor y presión del bisulfito cálcico $\text{Ca}(\text{HSO}_3)$ disuelto en agua, a una temperatura de 135-140° C. El procedimiento es alternado con baños de vapor para controlar el blanqueo con peróxidos. Este sistema disminuye la resistencia, calidad y cantidad de la fibra ^[218]. Existen dos tipos de cocción mediante vapor:

1. *Cocción intensa*: empleada para fabricar papeles higiénicos y sanitarios, y papeles blancos de resistencia limitada.

²¹⁴ COPÉDÉ, M., *La carta e il suo degrado*, Ed. Nardini, Firenze, 1995, p.40

²¹⁵ BANIK, G., CREMONESI, P., et al., *Nuove Metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, Ed. il prato, Padova, 2003, p.15.

²¹⁶ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p.6.

²¹⁷ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Inter folia. Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, p.26.

²¹⁸ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, pp. 12-13.

2. *Cocción menos intensa*: Los papeles obtenidos poseen una calidad media y buenas propiedades de resistencia. Utilizada para crear papeles de embalaje y, mezclada con otras pastas se fabrican papeles para la escritura.

- Método al sulfato o kraft:

Watt y Burgues en 1851, crearon un sistema alcalino donde eliminaban completamente la lignina consiguiendo unas fibras más elásticas y fibrosas. En un primer momento se utilizaba el carbonato sódico, pero al ser muy costoso Dahl en 1882 lo sustituyó por hidróxido sódico y sulfito sódico ^[219]. A este sistema se le añadía sulfato sódico para restituir el reactivo consumido y de ahí viene el nombre de la técnica. Esta técnica es la más empleada en la industria papelera. Actualmente se cuece en sosa cáustica y sulfuro de sodio. Al igual que el método de bisulfito, existen dos cocciones:

1. *Cocción intensa*: Utilizada para la creación de papeles con color claro, limpios y resistentes: papeles para sobres, papel de hilar, etc.
2. *Cocción menos intensa*: Empleada para producir papeles con un color más oscuro y con una gran resistencia como papeles para sacos, embalajes, etc.

III.3.1.3 Pasta semi-química o media pasta.

Este proceso se realiza con la combinación de dos fases. La primera consiste en impregnar la madera con productos químicos (sulfato de sodio o sosa cáustica en frío) para debilitar las uniones de la fibra leñosa y disminuir la cantidad de energía necesaria para la producción, y la segunda reside en triturar mecánicamente la madera ya tratada ^[220]; de esta manera obtenemos unas fibras más largas que con el procedimiento mecánico y por consiguiente un papel de mejor calidad. Esta técnica es empleada también para obtener un mayor rendimiento (un 65-75%) que las otras

²¹⁹ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, pp.12-13.

²²⁰ BANIK, G., CREMONESI, P., et al., *Nuove Metodologie nel restauro del materiale cartaceo*, Ed. il prato, Padova, 2003, p.15.

técnicas (mecánica o química). El inconveniente es que parcialmente la lignina y la calidad de los papeles es inferior a la pasta química ^[221].

IV Química de las fibras de papel

Para el éxito de esta investigación es de suma importancia conocer la composición química de la celulosa, su estructura física, así como las causas de degradación.

IV.1 Composición química de la celulosa

La celulosa está fabricada por las plantas, siendo el principal polímero estructural del mundo vegetal. Se encuentra en las paredes celulares de las plantas junto a la lignina y a otras sustancias como las resinas. Tiene una función parecida a las proteínas en los animales que constituyen huesos, músculos, etc. ^[222].

La celulosa (C₆H₁₀O₅) es un polisacárido lineal de origen vegetal formado por moléculas o sub-unidades ^[223,224] monoméricas repetidas de β-D-glucosa (C₆H₁₂O₆) o (anidro-D(+))Glucosa ^[225], unidas por enlaces β(1-4)glucosídicos ^[226] (puentes de oxígeno).

Al unirse dos β-D-glucopiranosas se desprende una molécula de agua como podemos ver en la siguiente figura 17. El disacárido que se crea, se llama celobiosa(C₆H₁₀O₆) ^[227] y cada unidad está orientada a 180° con respecto a la otra.

²²¹ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p. 6.

²²² LORUSSO, S., *Caratterizzazione, tecnologia e conservazione dei manufatti cartacei*, Ed. Pitagora, Bologna, 2006, p. 20. Salvatore Lorusso compara la celulosa al esqueleto de las plantas.

²²³ sub-unidades que aparecen en otros azúcares como la d-manosa y la sacarosa

²²⁴ BRANDT A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p. 10.

²²⁵ Apuntes de Marina Bicchieri "Chimica della cellulosa e metodi di studio della sua degradazione"

²²⁶ diferentes a los otros azúcares

²²⁷ DEL CASTILLO NEGRETE M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, pp. 5-7

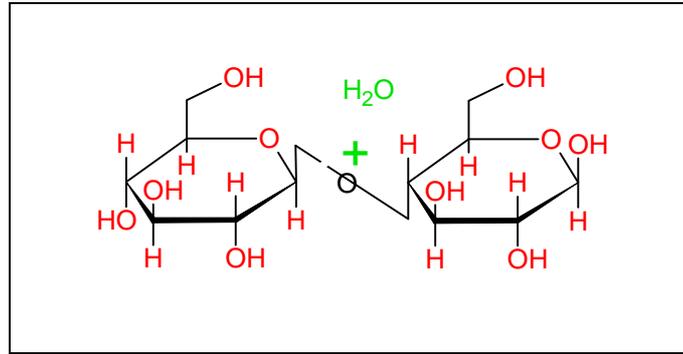


Figura 17. Obsérvese en verde el enlace β -glucosídico de dos β -D-glucopiranosas con desprendimiento de una molécula de agua.

El número de veces que se repite esta unidad monomérica en la macromolécula [Figura 18], representa el grado de polimerización. Cuanto más larga es esta cadena, mayor es el grado de polimerización ^[228] que varía dependiendo del origen de la celulosa ^[229] y de su estado de conservación. El grado de polimerización cuando la celulosa no está degradada, varía entre 3000 y 10000 pero cuando envejece, estas cadenas tienden a acortarse creándose una despolimerización. Este acortamiento de las cadenas puede ser de 500 a 800 cuando la resistencia de las fibras disminuye de manera drástica ^[230].

En la tabla siguiente ^[231] vemos el grado de polimerización de algunos tipos de celulosa:

Celulosa	Peso molecular	Grado de polimerización
- Nativa	50000 - 800 000	3000 - 5 000
- Comercial	8000 - 320 000	500- 2 000
- Regenerada (fibra artificial)	6000 - 100 000	250– 600
- Algodón	120 000- 260 000	700-1400

Tabla 5. Peso molecular y grado de polimerización de la celulosa

²²⁸ SEGEBARTH, I., *Les papiers transparents anciens : Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Ed. Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris, 2000.

²²⁹ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p.11.

²³⁰ AITEN, Y., et al., *Constituants fibreux des pâtes, papiers et cartons. Pratique de l'analyse*. Ed. Centre Technique de l'Industrie des Papiers, Cartons et Cellulose y l'Ecole Français de Papeterie et des Industries Graphiques, Grenoble, 1988, p.30.

²³¹ Tabla obtenida del libro LORUSSO, S., *Caratterizzazione, tecnologia e conservazione dei manufatti cartacei*, Ed. Pitagora, Bologna, 2006, p.20.

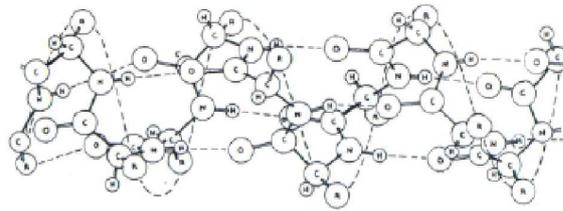


Figura 18. Macromolécula de celulosa

La celulosa es una molécula polar y puede crear uniones y atracciones intermoleculares.

Para la formación de las fibras de celulosa, las cadenas de celulosa se posicionan en el sitio exacto para formar uniones o puentes de hidrógeno [figura 19] y Fuerzas de Van der Waals. De esta manera forman unas estructuras en forma de bastoncillos llamadas micelas; éstas a su vez son la estructura de las microfibrillas de la celulosa que conforman las fibras vegetales [Figura 20].

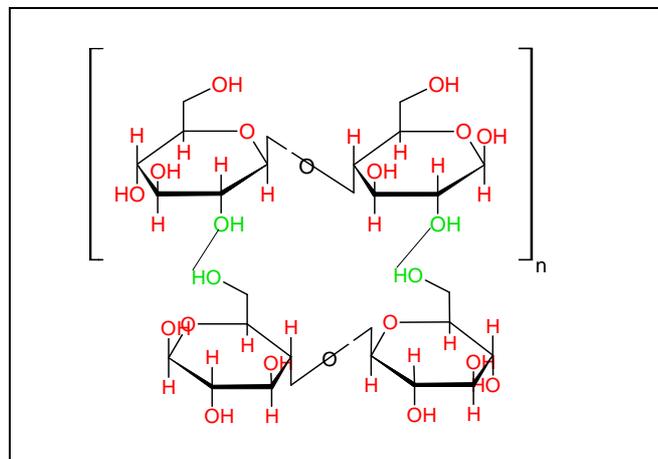


Figura 19. Se puede ver en verde la formación de los puentes de hidrógeno entre las diferentes cadenas de celulosa

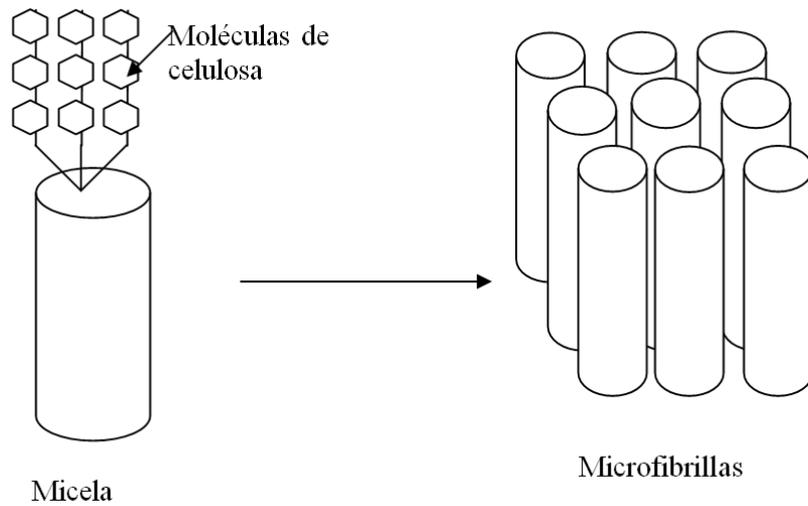
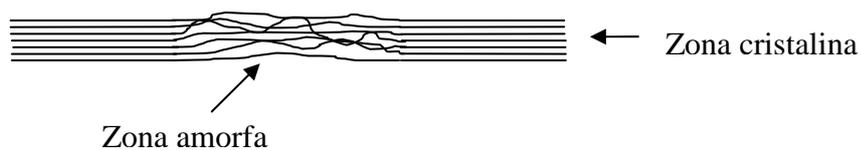


Figura 20. Moléculas de celulosa formando una micela y las microfibrillas.

Las cadenas lineales se posicionan paralelamente formando:

- Estructuras geoméricamente definidas, llamadas zonas cristalinas [Figura 21]. Sirven de barrera protectora frente algunos agentes degradantes. Estas zonas compactas están formadas por 100-150 macromoléculas de celulosa, representan el 70-80% total de la fibra y tienen una densidad de 1,6 ^[232].

- Zonas amorfas donde las macromoléculas están posicionadas de forma desordenada. La densidad es de 1,5. En la madera la proporción de zonas amorfas es mayor que en las fibras de algodón.



²³² DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, p. 6.

Figura 21. Zona cristalina y amorfa de una fibra^[233].

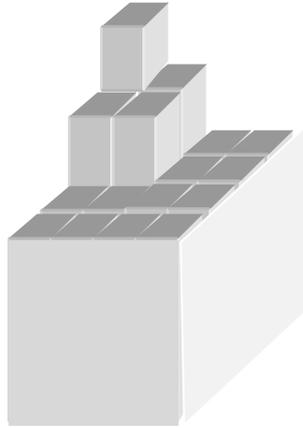


Figura 22. Organización de las zonas cristalinas para la constitución de las fibras

La resistencia de la estructura en las zonas cristalinas es mayor que en la zona amorfa, la cual es más frágil y fácilmente atacable (enzimas, reactivos químicos...). La largura de las macromoléculas indica la resistencia del polímero y los grupos laterales otorgan propiedades características como la solubilidad, la polaridad, etc. El apriete paralelo de las fibras condiciona las propiedades mecánicas de la celulosa. Por otro lado la resistencia mecánica del material está estrechamente relacionada con el trenzado de las fibras.

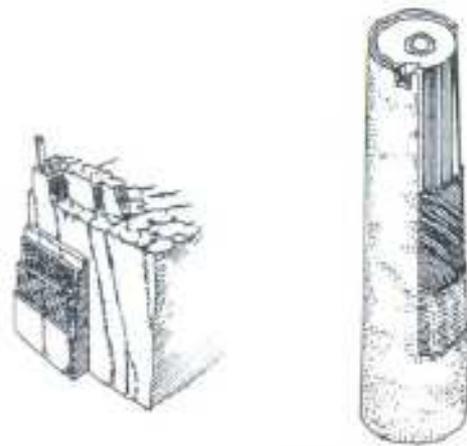


Figura 23. Disposición de las fibras y una fibra de celulosa

²³³ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p.11.

IV.2 Otros componentes presentes en las fibras de papel

Los papeles comerciales que se venden para impresoras, que sirven para la escritura, etc., están fabricados como hemos visto anteriormente, con diferentes compuestos. En estos papeles, las fibras de madera no están compuestas exclusivamente de celulosa y es necesario saber que estas fibras poseen también hemicelulosa y lignina [234].

IV.2.1 La hemicelulosa

La hemicelulosa es un heteropolisacárido, posee una estructura análoga a la de la celulosa [235] y además cuenta con otras unidades glucosídicas (otros azúcares como la xilosa [236], arabinosa [237], glucosa, galactosa, fructosa o manosa [238]), sus cadenas son más cortas y suelen estar ramificadas (su grado de polimerización medio es de 150 [239]).

La hemicelulosa se une a la superficie de las microfibrillas celulósicas mediante uniones de hidrógeno, siendo estas uniones de gran importancia en la fabricación del papel. También se sabe que en los materiales fibrosos se acopla a la lignina.

La hemicelulosa engloba los filamentos micelarios que se unen a las fibrillas y es químicamente menos estable que la celulosa, muy hidrófila, adhesiva y, puede ser disuelta por numerosos reactivos (hidrolizado en medio ácido, en agua alcalina y en los tratamientos de las pastas químicas).

²³⁴ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, pp. 10-12.

²³⁵ SEGEBARTH, I., *Les papiers transparents anciens : Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Ed. Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris, 2000, p. 18.

²³⁶ La xilosa, denominada azúcar de madera, tiene forma de hexágono y es una aldopentosa.

²³⁷ La arabinosa, también es una aldopentosa, como la xilosa.

²³⁸ La manosa, monosacárido (o azúcar simple) forma parte de algunos polisacáridos de las plantas y de algunas glucoproteínas animales.

²³⁹ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p. 11.

IV.2.2 La lignina

La lignina es el polímero natural orgánico más abundante en el mundo vegetal (después de los polisacáridos).

La cadena polimérica de la lignina es mucho más complicada que la de celulosa y hemicelulosa. Está formada por azúcares, carbón, hidrógeno, oxígeno, monómeros aromáticos, unidades de fenilpropano y por muchos polímeros estructurales (ligninas). Posee una estructura tridimensional al contrario que la celulosa y la hemicelulosa. Su grado de polimerización es bajo.

La lignina confiere a las paredes celulares de un vegetal su resistencia y rigidez; se comporta como un cemento entre las fibras celulósicas. Además, actúa también como protector de la celulosa contra enzimas celulósicas, celulasas, que pueden degradarle y disminuye la permeabilidad de las paredes celulares de las plantas.

En la madera representa del 15 al 30% aproximadamente dependiendo del tipo de árbol ^[240] - del 15 al 25% en árboles frondosos y del 23 al 33% en árboles resinosos ^[241].

En la fabricación del papel se intenta eliminar lo máximo posible la lignina por diferentes motivos:

- Para liberar la celulosa de la madera.
- Porque la molécula de lignina no crea fácilmente puentes de hidrógeno, indispensables para la resistencia mecánica de un papel.
- Porque es un compuesto muy inestable, le afectan mucho los agentes exteriores como la luz y la oxidación (el papel se acidifica, amarillea, fragiliza...)
- Absorbe más luz que la celulosa por lo que es menos transparente ^[242].

²⁴⁰ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p. 11.

²⁴¹ AITEN, Y., *et al.*, *Constituants fibreux des pâtes, papiers et cartons. Pratique de l'analyse*. Ed. Centre Technique de l'Industrie des Papiers, Cartons et Cellulose y l'Ecole Française de Papeterie et des Industries Graphiques, Grenoble, 1988, pp. 32.

²⁴² SEGEBARTH, I., *Les papiers transparents anciens : Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Ed. Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris, 2000, p. 18.

V Degradación del papel

V.1 Cambios del papel al degradarse

El papel sufre variaciones en su estado original a través del tiempo. Las causas de degradación vienen dadas por reacciones físicas, químicas, biológicas y/o mezcla de todas ellas, tanto a nivel macroscópico como estructural. Estas causas están influidas por factores ambientales, por las diferentes sustancias que contenga el papel introducidas a la hora de su fabricación o que pertenezcan a la propia planta, y por la conservación del papel a lo largo del tiempo (presencia de microorganismos y contaminantes, humedad, temperatura, intensidad de Luz excesivas, manipulación humana...).

Cuando comienza la degradación en materiales celulósicos, se producen dos tipos de cambios: los cambios primarios y los cambios secundarios.

Cambios primarios	Cambios secundarios
A simple vista no se pueden apreciar porque estos cambios son roturas a nivel molecular/estructural.	Se producen a nivel macroscópico, pudiéndolos observar a simple vista. Estos cambios se forman a partir de los efectos primarios, provocando modificaciones en algunas de sus propiedades.

Tabla 6. Los dos tipos de cambios que se producen al degradarse el papel.

La degradación del papel son reacciones donde de una estructura polimérica de las cadenas de celulosa se obtienen fragmentos moleculares más pequeños. La estructura original se modifica al romperse los enlaces de las cadenas principales o grupos sustituyentes laterales. Estas roturas crean fragilidad al ser alterada la disposición de las moléculas y ordenarse de manera desordenada. Además, en los puntos de rotura se suelen formar uniones indeseables.

Los cambios y efectos de la degradación que suelen producirse en los soportes celulósicos:

- Degradaciones heterogéneas del exterior al interior de la hoja y homogéneas sobre el resto de la superficie.
- Aumento de la acidez o disminución del pH.
- Amarillamiento y pérdida de brillantez.
- Pérdida de elasticidad por sequedad y aumento de la rigidez. Esto es debido a la pérdida de parte de la estructura de las zonas amorfas.
- Disminución de la resistencia y de la fuerza mecánica del soporte. En ocasiones, la pérdida de la resistencia es tal que el papel no puede ser manejado manualmente.
- Ruptura de cadenas y formación de nuevos grupos funcionales

V.2 Reacciones químicas implícitas en la degradación de la celulosa.

La degradación de la celulosa puede ser intuida por el debilitamiento del papel. Las reacciones químicas que se producen son al azar. Las más frecuentes son la hidrólisis, que rompe las uniones glucosídicas de la celulosa y, la oxidación, que fragmenta las cadenas poliméricas y/o introduce grupos carboxílicos en los puntos de rotura. La degradación aumenta cuando la proporción de compuestos no celulósicos aumenta.

V.2.1 Hidrólisis

La hidrólisis de la celulosa es la rotura de las uniones β -glucosídicas entre la glucosa. Esto provoca la fragmentación de la cadena de celulosa, la disminución de su grado medio de polimerización y de su masa molecular, y por tanto de la resistencia del papel.

El grado de hidrólisis depende de la accesibilidad y la naturaleza del polisacárido. Cuantas más zonas amorfas posea la celulosa, más accesible y degradable será. Por eso la hemicelulosa se degrada más que la celulosa.

La hidrólisis de la unión glucosídica es catalizada por los ácidos o por las bases. Los ácidos tienen su actividad catalítica en temperaturas bajas, y las bases solo en temperaturas altas (hidróxido de sodio 170° C). Pero la hidrólisis catalizada por las bases ocurre muy fácilmente cuando la celulosa está ya oxidada. La velocidad de la hidrólisis es mayor cuando el papel está oxidado. Los procesos de oxidación e hidrólisis se favorecen entre sí.

- **Hidrólisis ácida**

La hidrólisis de la celulosa es total con un ácido mineral fuerte, y sólo parcial, con un ácido mineral fuerte diluido o con un ácido orgánico.

La hidrólisis ácida tiene dos fases:

- La primera es la protonización, es decir, la unión de un ión de hidrogeno (proveniente de la disociación de un ácido) con el oxígeno de la unión glucosídica.

- La segunda es la actuación de una molécula de agua que se une a uno de los carbonos y provoca la rotura del enlace glucosídico, liberándose un ión hidrógeno. En cada carbono ahora se forma y permanece nuevas unidades terminales reductoras (-OH). [Figura 24]. En estas aparece un equilibrio entre la forma cíclica y la estructura abierta.

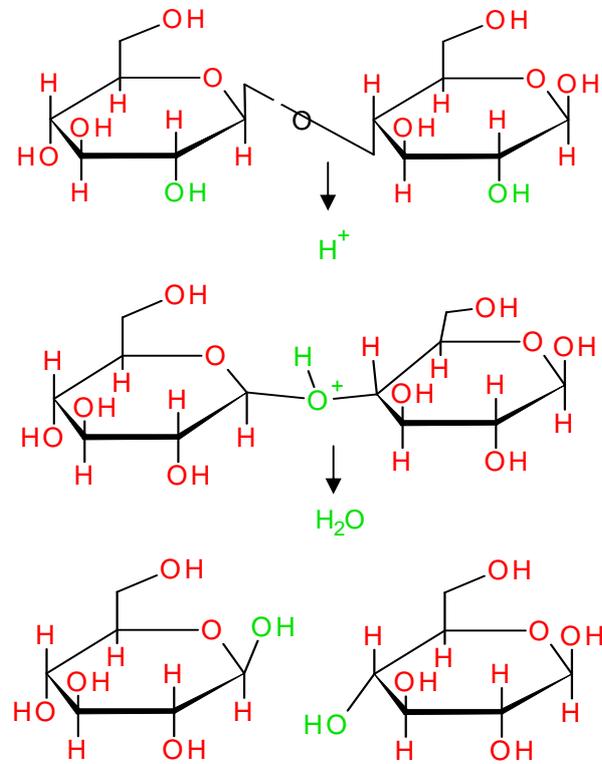


Figura 24. Rotura mediante hidrólisis de las uniones $\beta(1-4)$ glucosídicas entre las unidades de β -D-glucosa ($C_6H_{12}O_6$), catalizadas por medio de iones hidrógeno:

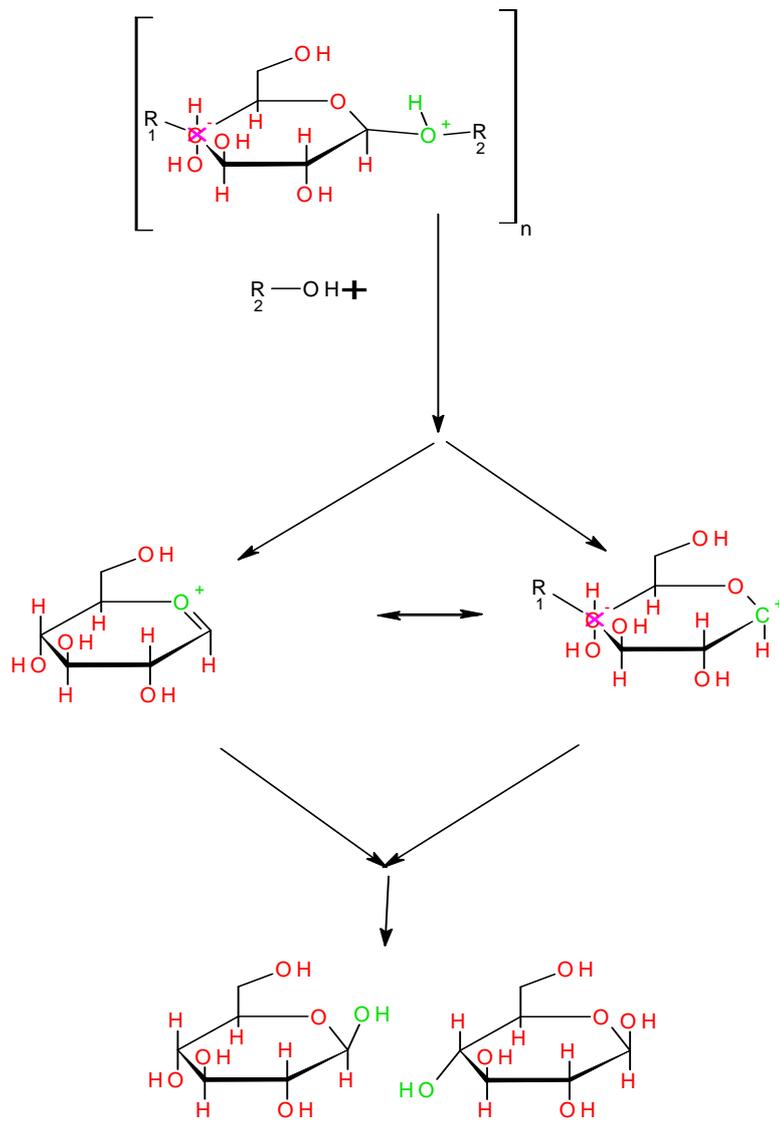


Figura 25. Dos de las posibilidades de formación de nuevas unidades terminales reductoras en las cuales se instaura un equilibrio entre la forma cíclica.

- **Hidrólisis básica**

La hidrólisis básica se produce en un medio fuertemente alcalino y con una temperatura elevada.

Pero se puede producir rápidamente a temperatura ambiente con una base diluida, si la celulosa oxidada posee grupos β -alcoxicarbonilos ^[243]. Esta reacción se llama β -alcoxieliminación y revela por qué es tan importante que el pH de un tratamiento de desacidificación sea inferior a 9-9,5. La β -alcoxieliminación puede ser el principal mecanismo de degradación de los papeles oxidados.

Existe la posibilidad que aparezca una gradual erosión (peeling) por la pérdida de una unidad terminal del resto de la molécula no oxidada. Esto provoca una reorganización lenta del grupo terminal que oxidándose a carboxilo, estabiliza la molécula y la convierte en no susceptible a la degradación alcalina.

Por otra parte en los puntos de rotura se suelen formar grupos terminales formados por ácidos glicólicos ^[244] y esteres de celulosa que son más o menos solubles en agua, especialmente en presencia de álcalis.

Estas uniones glucosídicas son estables en un medio neutro, de ahí la importancia de mantener el pH del papel neutro.

V.2.2 Oxidación

La oxidación transfiere electrones de una especie química a otra. En la mayoría de los casos participa en esta reacción el oxígeno aunque no es necesario.

La presencia de sustancias contaminantes en la atmósfera (ejemplo el azufre), productos oxidantes y oxidables del papel (ej. tintas y pigmentos), sustancias introducidas en la fabricación (blanqueadores...) pueden provocar reacciones de oxidación de la celulosa.

La oxidación del grupo alcohólico primario (-CH₂-OH), transforma este grupo en ácido carboxílico (-COOH) mientras uno secundario (=CH-OH) en cetona (-CO-). Los oxidrilos secundarios C-2 y C-3 se transforman en grupos carbonilos (cetonas), mientras el único oxidrilo primario, el C-6 se convierte en un grupo carboxílico

²⁴³ Grupo carbonilo es un grupo funcional que está formado por un átomo de carbono con un doble enlace a un átomo de oxígeno.

²⁴⁴ El ácido glicólico o hidroxiaacético tiene la siguiente fórmula: C₂H₄O₃. Es el ácido hidróxico más pequeño. Suele ser incoloro, inodoro, sólido cristalino higroscópico y, muy soluble en agua y en solventes relacionados.

(ácido). Éste puede catalizar la hidrólisis de otras cadenas de celulosa degradando aún más la fibra.

Por otro lado, los grupos carbonilos son grupos cromóforos, por lo que una vez formados dan una cierta coloración a la celulosa y provocan graves alteraciones óptico-cromáticas. Además, si estos forman uniones con el hidrógeno (uniones más débiles que las de los grupos alcohólicos) crean alteraciones estructurales de la fibra. Y, si la oxidación es muy grande, los grupos carbonilos pueden ser transformados en grupos carboxílicos. Esto provoca la rotura del anillo entre los carbonos C-2 y C-3, lo que provoca alteraciones en la estructura de la fibra.

Factores responsables de los procesos de oxidación:

- La luz con foto degradación sobre todo la luz solar con los ultravioletas
- Sustancias químicas como hipoclorito agua oxigenada permanganato
- Contaminantes atmosféricos.

La permanencia de estos factores tras una restauración o después de su fabricación es un elevado riesgo para la integridad de la obra.

Las siguientes figuras muestran algunas de las variaciones que sufre la celulosa tras varias reacciones.

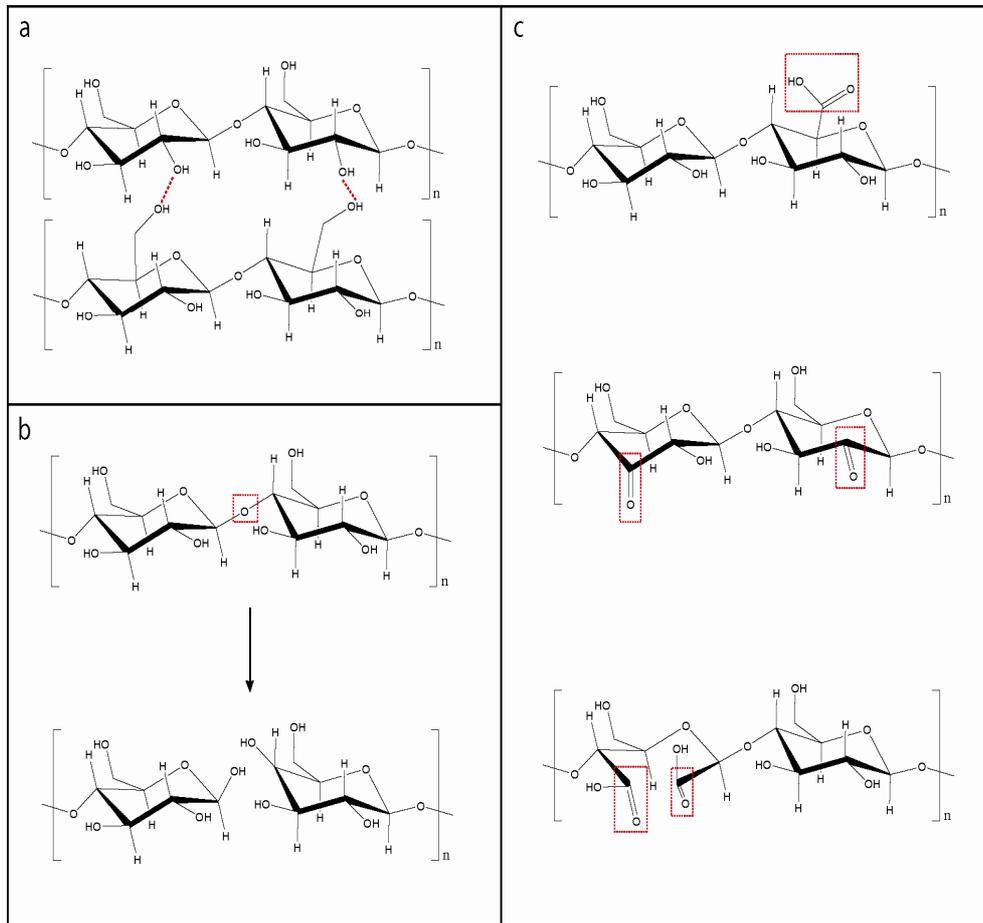


Figura 26. a) Estructura de un polímero homosacárido y las interacciones de hidrógeno en las fibras de celulosa (en rojo), b) hidrólisis que ocurre durante el envejecimiento de las fibras de celulosa y c) posibles reacciones de oxidación de las fibras de celulosa.

V.3 Causas de degradación

La degradación del papel está sujeta a su propia naturaleza y a un conjunto de factores que rodean la obra. En el siguiente gráfico vemos resumidamente las causas intrínsecas y extrínsecas que degradan una obra de soporte papel.

V.3.1 Causas intrínsecas

La degradación de las obras sobre soporte de papel, puede ser catalizada por factores intrínsecos ligados a la propia naturaleza y calidad de los materiales que las constituyen ^[248]:

- **Las fibras**

La calidad de las fibras limita la vida de la obra. Las fibras vegetales poseen una durabilidad mucho mayor que fibras recicladas de pasta mecánica, porque no poseen sustancias como la lignina que acelera la degradación del papel. La acidez o alcalinidad de las fibras ^[249] causa la hidrólisis ácida acelerando la degradación como hemos visto anteriormente.

- **Sustancias degradantes introducidas en la fabricación del papel** ^[250].

Durante la manufactura de los papeles, pueden permanecer elementos no deseados en los papeles como por ejemplo: impurezas no eliminadas, acidez introducida en la pulpa, sustancias derivadas de los deterioros primarios como oxixelulosas y peróxidos, sales residuales de un agua no tratada que actúan como catalizadores de contaminantes, etc. ^[251]. Cuantos más elementos no celulósicos haya en un papel, la degradación será más rápida.

²⁴⁷ STRLIC, M., KOLAR, J., *Ageing and stabilization of paper*, Ed. National and University Library, Slovenia, 2005, p.6

²⁴⁸ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*. Ed. Del Bianco, Udine, 1990.

²⁴⁹ El pH como bien sabemos debe estar entre +/- 7. En 1936, O. Schierhol patentó la desacidificación con bariun, Strontium o bicarbonato de calcio o hidróxido de calcio. Es importante dejar una reserva alcalina (depósito de carbonato) para que en un futuro la absorción de ácidos del ambiente no acidifique en exceso el papel. La desacidificación puede realizarse manualmente o mecánicamente en masa. La manual se realiza mediante una solución acuosa de calcio o bicarbonato de magnesio o hidróxido de calcio. Y en la de masa se bañan en solventes orgánicos.

²⁵⁰ COPEDÉ, M., et al., *Interventi per la Conservazione del patrimonio librario e archivistico*, Ed. Fratelli Palombi, Roma, 1991, p. 181.

²⁵¹ DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, p. 13.

A continuación enumeramos diferentes componentes degradantes que aparecen en los soportes celulósicos antes y después de la revolución industrial del siglo XIX^[252, 253 y 254].

➤ **Antes de la fabricación industrial del s. XIX.**

- El uso de agua no depurada o la presencia de metales pesados en las cubetas para la fabricación del papel, catalizan las reacciones ácidas.
- Partículas metálicas provenientes de los mazos para batir los trapos.
- Alumbre introducido a partir de la primera mitad del siglo XVII para mejorar el apresto (en tinta).
- Tintas ferrogálicas ácidas que pueden llegar a destruir la hoja de papel, interaccionando con el agua presente en el papel, formando ácido sulfúrico y reduciéndola a restos negruzcos^[255].
- Cloro empleado para blanquear la celulosa a finales del siglo XVIII. El blanqueo con cloro aumenta la proporción de grupos carboxílicos. Los productos clorados residuales favorecen la formación de ácido clorhídrico que causa la hidrólisis de la celulosa^[256].
- La colofonia a partir del siglo XIX sustituyó la gelatina y posee ácidos resinosos. El sulfato de aluminio utilizado para precipitar la colofonia es una sal ácida, lo que acelera la hidrólisis de la celulosa.

➤ **A partir de la fabricación industrial, componentes oxidantes como:**

- Lignina que acidifica el papel.
- Otros blanqueadores diferentes al cloro.
- carbonato de calcio que disminuye la resistencia del papel.

²⁵² CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, París, 1984, pp. 18-19.

²⁵³ COPEDÉ, M., *La carta e il suo degrado*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, pp. 67-69.

²⁵⁴ LIÉNARDY, A., VAN DAMME, P., *Inter Folia, Manuel de conservation et de restauration du papier*, Ed. Institut du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, pp. 69-70.

²⁵⁵ COPEDÉ, M., *La carta e il suo degrado* ed. Nardini, Firenze, 1991, pp. 67-69.

²⁵⁶ BRANDT, A-C., *La désacidification de masse du papier. Étude comparative des procédés existants*, Ed. Bibliothèque Nationale, Paris, 1992, p. 24.

- Tintas, resinas, etc. La composición química de las tintas, de los colores y de los materiales utilizados en la realización de los dibujos o textos, pueden interactuar en la propia degradación de la obra. Estos elementos no se pueden disociar del soporte por lo que afectan irremediablemente al papel.

Muchos de estos factores son causa de reacciones ácidas potenciadas por factores externos que provocan la hidrólisis. Esto provoca la rotura de cadenas moleculares de la celulosa que se traduce en una menor resistencia mecánica. La acidez o actividad de un ácido es la causa más peligrosa que existe para la conservación de una obra sobre papel. La acidez emigra, lo que puede contaminar otros papeles que no tengan acidez y muchas veces hasta que el papel está físicamente muy perjudicado, no es muy evidente.

Los papeles de pasta de madera, con lignina, con colofonia, etc. tienden a amarillear, siendo un claro signo de acidez ^[257].

- Defectos estructurales de los libros

Existen degradaciones físicas en el papel debido a los defectos en su estructura, a su formato o en las uniones de los libros ^[258]. Exponemos a continuación una lista de algunas de las causas intrínsecas estructurales de papeles que provocan su degradación.

- 1- Técnicas inadecuadas en la encuadernación, la formación o falta del cajo ^[259].
- 2- Formación de un volumen con papeles de diferentes dimensiones que forman deformaciones y roturas.
- 3- Separación de los librillos debido a una cola demasiado rígida

²⁵⁷ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, París, 1984, pp. 19-20.

²⁵⁸ COPEDÉ, M. et al. , *Interventi per la Conservazione del patrimonio librario e archivistico*, Ed. Fratelli Palombi, Roma, 1991, pp. 182-183.

²⁵⁹ Reborde o pestaña hecho en el lomo de un libro para que quepan y encajen los cartones de las tapas.

- 4- Ensamblaje de papeles de diferente formato: daño en los márgenes de los papeles.
- 5- Pegar papel a maderas o telas con ceras.
- 6- Enrollar los papeles creando pliegues y contracciones.
- 7- Pliegues o deformaciones en papeles de gran formato debido a una mala colocación. Al ser grandes, pueden producirse incluso roturas del papel.

V.3.2 Causas extrínsecas

Se dividen los factores extrínsecos en tres grandes grupos: el primer grupo serían las causas ambientales, el segundo, los factores biológicos -los microorganismos, insectos y roedores-, y el último, el uso indebido de las personas y los accidentes.

V.3.2.1 Causas ambientales

Los factores ambientales pueden provocar reacciones físico-químicas como por ejemplo la fotodegradación causada por la luz o la termodegradación por la temperatura. Estas reacciones suelen ser provocadas por la exposición a rayos ultravioletas (UVA), rayos X, calor, partículas eléctricas a elevada aceleración, esfuerzos mecánicos de pliegues, ultrasonidos, etc., y el ataque suele empezar por los extremos de las cadenas y puntos de ramificación.

En estos procesos influye mucho la presencia de oxígeno y agua puesto que intervienen en las reacciones de los radicales peróxidos. Como consecuencia el papel amarillea a causa de la creación de nuevos grupos cromóforos que absorben la luz, disminuyen sus propiedades mecánicas como las de rasgado, estallido, tensión y doblez, y disminuye la flexibilidad del papel ^[260].

²⁶⁰ VAILLANT CALLOL, M., VALENTIN RODRIGO, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*, Ed. Ministerio de educación y cultura-IPHE, Madrid, 1996, pp. 43-49.

1- La luz

La luz natural o artificial debe ser controlada para una buena conservación de nuestro patrimonio celulósico. Una intensidad de luz inadecuada, durante un tiempo de exposición demasiado largo provoca reacciones físico-químicas irreversibles en el papel (Fotolisis).

- La iluminación correcta no debe superar los 50 lux ^[261]/hora y las radiaciones de ultravioletas deben ser mínimas o nulas (máx. 75 μ watt/lumen ^[262]).
- La luz solar es la más perjudicial porque contiene una mayor cantidad de rayos ultravioletas e infrarrojos.
- La luz infrarroja aumenta la temperatura y provoca la evaporación del agua, aumentando la sequedad del papel y favoreciendo la oxidación de las cadenas de celulosa.

La fotodegradación se produce cuando la luz absorbida por un material es mayor que la energía de enlace del polímero.

La luz solar que irradia una obra de celulosa, puede provocar la fotólisis directa cuando la longitud de onda es mayor o igual a 254-300nm (luz ultravioleta) y la energía de ruptura originada está aproximadamente a 80-95kilocalorías por mol, lo que provoca la rotura de los enlaces C-C y C-O glucosídicos.

Por otro lado, predominan las reacciones de oxidación que rompen los enlaces glucosídicos C1-C2, C5-O de la molécula, provocando la reducción del grado de polimerización y además, si durante la ruptura fotolítica existe la presencia de oxígeno, pueden formarse radicales peróxidos (ROO[·]) ^[263, 264 y 265].

²⁶¹ “El lux (lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de Medidas para el nivel de iluminación. Corresponde a un lumen /m². Se usa en fotometría como medida de la intensidad luminosa, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano. 1 lx = 1 lm/m² = 1 cd· sr/m²”

²⁶² “El lumen (lm) es la unidad del Sistema Internacional de Medidas y mide el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa percibida”.

Estas dos definiciones, el lux y el lumen han sido extraídas de la enciclopedia wikipedia.

²⁶³ RODRÍGUEZ LASO, M., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 1999, pp. 127-128.

²⁶⁴ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, pp. 64-65.

Por lo tanto, deben ser siempre controlados la longitud de onda, la potencia, y el tiempo de exposición para conservar los documentos lo mejor posible y que no se produzcan la disminución del grado de polimerización, oxidación, hidrólisis del papel. Todo esto provoca que los papeles sean más quebradizos y amarillentos hasta su completa desintegración ^[266].

2- La temperatura

La temperatura y humedad están estrechamente relacionadas. Cuando la primera sube, la segunda baja y viceversa. La temperatura debe estar comprendida entre los 16 y 20°C (+/- 18°C) porque puede provocar diferentes degradaciones:

- Una temperatura bastante superior a 18°C, ligada a una alta humedad relativa, favorece el ataque y crecimiento de microorganismos e insectos.
- Por el contrario, una temperatura elevada y una humedad relativa baja, provoca que el papel se vuelva quebradizo porque los puentes interfibrilares de la celulosa disminuyen, el envejecimiento natural se acelera causando que los adhesivos se resquebrajen y pierdan su función ^[267].
- Las fuertes variaciones de temperatura y humedad también se deben evitar porque someten al papel a fuertes tensiones de dilatación y contracción, desquebrajando sus enlaces estructurales y por consecuencia al papel.

La temperatura es un factor importante a tener en cuenta ya que acelera todos los procesos químicos.

La termodegradación se produce cuando la energía calorífica provoca reacciones hidrolíticas en diferentes polímeros. Todos los enlaces pueden ser atacados sin distinción. En una primera fase, el tamaño molecular disminuye mucho, incluso a la

²⁶⁵ VAILLANT CALLOL, M., VALENTIN RODRIGO, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*, Ed. Ministerio de educación y cultura-IPHE, Madrid, 1996, p. 46.

²⁶⁶ DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, p. 11.

²⁶⁷ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, pp. 21-22.

mitad; y en una segunda fase, se producen nuevos elementos. Por otra parte, las reacciones hidrolíticas provocan la disminución de la viscosidad y con ello la pérdida de peso molecular ^[268].

3- La humedad relativa

La humedad relativa (HR) del sitio donde guardemos los libros (depósito, biblioteca...) no debe ser superior al 65% o inferior al 45%, o tener fuertes variaciones. El papel es un material higroscópico y el agua influye mucho en las reacciones químicas y ataques biológicos, teniendo como resultado cambios estructurales, deformaciones y debilitamiento físico de las fibras. Los microorganismos necesitan una humedad relativa superior al 8-10% para desarrollarse y con una humedad relativa muy alta, superior al 75% el papel puede llegar a destruirse muy rápidamente. Además de esto, la humedad relativa alta también afecta a las colas debilitándolas y pudiendo pegar las hojas entre sí, a las tintas provocando manchas, etc. ^[269].

Con fuertes variaciones de la HR se propicia los daños físicos en la estructura de la fibra.

4- Contaminación atmosférica

La contaminación de cloruros, óxidos de nitrógeno, azufre –anhidro sulfúrico o sulfuroso; ácido sulfúrico y sulfhídrico- ácido clorhídrico puede reaccionar químicamente con el papel y acelerar su degradación.

o El dióxido de azufre, SO₂.

Es uno de los contaminantes producidos por el hombre y que tiene consecuencias desastrosas en el medio ambiente (lluvia ácida). Es el más extendido y al reaccionar

²⁶⁸ VAILLANT, M., VALENTIN, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*, Ed. Ministerio de educación y cultura IPHE, Madrid, 1996, p. 46.

²⁶⁹ DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, p. 12.

con el oxígeno del aire, se transforma en trióxido de azufre y en contacto con la humedad se convierte en ácido sulfúrico.

Los papeles de pasta de madera se ven afectados rápidamente por la contaminación y oscurecen periféricamente, quedando el centro en mejor estado.

- **Compuestos de nitrógeno, NO y NO₂**

El óxido de nitrógeno NO y el dióxido de nitrógeno NO₂ son muy corrosivos y pueden disolverse en el agua produciendo ácido nitroso, ácido débil. Éste, a su vez puede disociarse en ácido nítrico que es un ácido fuerte y puede perjudicar mucho a la obra sobre papel.

- **Compuestos y partículas sólidos**

Los aerosoles contienen partículas minerales y orgánicas: óxidos, sulfatos, carbonatos, cloruros, etc. Los iones metálicos de estos aerosoles catalizan los procesos de degradación ^[270].

5- El polvo

El polvo es un vehículo de sustancias contaminantes, microorganismos, insectos; provoca un aumento de humedad en los materiales y es una fuente de alimento para todos éstos, por lo tanto es recomendable evitar las acumulaciones de polvo.

V.3.2.2 Factores biológicos

Los microorganismos e insectos son las causas más comunes y graves de alteración químico-física. Los primeros atacan el papel disgregándolo y manchándolo con los pigmentos que segregan. Los segundos se identifican porque erosionan y perforan galerías. Los factores biológicos son muy extensos y difíciles de identificar a simple

²⁷⁰ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, pp. 73-75.

vista. A continuación se realizará un repaso a las bacterias, hongos e insectos que se encuentran más comúnmente.

1- Bacterias

Las bacterias que degradan el papel suelen ser las aeróbicas ^[271] y las mesófilas ^[272]. Su presencia es invisible al principio aunque posteriormente cuando la contaminación es mayor aparecen manchas de colores amarillo, marrón, rojo, azul o negro dependiendo de la especie formando mantos de colores de diferentes espesores ^[273]. Las especies que infectan los papeles suelen pertenecer a las eubacterias ^[274] sin afinidad con los microorganismos animales o vegetales, y las *mycobacterium* ^[275, 276 y 277].

Son transportadas por el viento en forma de esporas. Pueden permanecer en estado latente durante años si las condiciones para su desarrollo no son las óptimas.

Las bacterias pueden vivir con un pH entre 1 y 12 siendo entre 7 y 8 el pH más adecuado para su desarrollo. Las bacterias se desarrollan tanto con luz como sin ella. La temperatura habitual de desarrollo es inferior a 40°C, entre 25-37°C aunque existen otro tipo de bacterias termófilas que sobreviven entre 50 y 65°C. La Humedad Relativa óptima oscila entre el 65 y 100%, siendo el 100% la tasa óptima para su desarrollo.

Las bacterias heterótrofas se alimentan de celulosa, hemicelulosa, almidón, sustancias orgánicas como el colágeno, etc. Necesitan una fuente de carbono y

²⁷¹ Bacterias que necesitan oxígeno para desarrollarse.

²⁷² bacterias que descomponen el papel entre 30 y 40°C

²⁷³ Datos obtenidos en el libro de VAILLANT, M., VALENTIN, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*, Ed. Ministerio de educación y cultura IPHE, Madrid, 1996, p. 76.

²⁷⁴ http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Life/classification_eubacteria.sp.html, las eubacterias o “bacterias verdaderas” son organismos microscópicos que tienen células procariotas.

²⁷⁵ <http://es.wikipedia.org/wiki/Mycobacterium>. Las *Mycobacterium* son bacterias aerobias y no móviles. Son típicamente alcohol ácido-resistente, no producen endosporas ni cápsulas. El prefijo latino “myco—” significa tanto *hongo* como *cera*; Las micobacterias tienen forma de bacilos rectos o ligeramente curvados y miden 0,2-0,6 µm de ancho por 1,0-10 µm de largo.

²⁷⁶ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine artistique, Bruxelles, 1989, pp. 78-79.

²⁷⁷ RODRÍGUEZ LASO, M., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 1999, pp. 142-144.

algunas de ellas lo encuentran sólo en la celulosa. Cada bacteria produce enzimas hidrolíticas que favorecen la descomposición de los materiales ^[278].

2- Hongos

Existen múltiples tipos de hongos que degradan el patrimonio de papel. Estudiosos han determinado que las especies más comunes que deterioran los libros son del tipo: *Aspergillus* (30%), *Penicillium* (30%) y *Chaetomium*^[279]. Esto es debido a la capacidad de las esporas de germinar incluso en condiciones de humedad relativa de 62-65%.

Las colonizaciones de hongos pueden observarse a simple vista o con lupa. Suelen aparecer como manchas oscuras en el centro y más claras en los bordes e incluso pueden tener cierto relieve.

Los hongos pueden permanecer sin desarrollarse durante mucho tiempo, a la espera de que las condiciones ambientales sean propicias para la germinación de las esporas ^[280]. Además pueden aparecer por diferentes causas:

1. Empleo de materiales contaminados con esporas en su fabricación o restauración.
2. Presencia de microorganismos en el polvo.
3. Contaminación en libros colindantes, infectando de este modo el ambiente.
4. Catástrofes, accidentes, inundaciones, etc. que producen condiciones favorables para su desarrollo.

En la próxima tabla [Tabla 7], se resumen las condiciones necesarias y favorables -la temperatura y humedad relativa, aparte de otros factores- , necesarios para el desarrollo de los microorganismos, ya sean bacterias u hongos.

²⁷⁸ VAILLANT M., VALENTIN, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*, Ed. Ministerio de educación y cultura IPHE, Madrid, 1996, p. 75.

²⁷⁹ Datos recopilados del libro de GALLO, F., *Biological Factors in deterioration of paper*, Ed. ICCROM, Roma, 1985, p. 129.

²⁸⁰ VAILLANT CALLOL, M., VALENTIN RODRIGO, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro* ed. Ministerio de educación y cultura-IPHE, Madrid, 1996, pp. 73-74, 78-81.

Se observa que la humedad relativa siempre oscila entre 65-100%, por esta razón es necesario tener este factor muy controlado.

La tempera mínima y máxima de germinación o proliferación depende de cada especie.

Microorganismos	Tipo	Temperatura °C	H.R. %	Otros
Bacterias	general	Óptima 20-35° Mínima 5° Máxima 50°	Óptima 90-100 Mínima 65	% de H ₂ O en materiales para que germinen las esporas: Superior a 8-10%
Hongos	general	Óptima 24-30° Mínima -7° Máxima 50°	Óptima 65-100 Mínima 50	
	Penicillium chrysogenum	10 °C 15 °C ← 25°C	H.R mínima para su desarrollo 83,5% 77% 72,5%	
			100% ← 72% ←	Tiempo para desarrollarse sobre el papel 5-20 días 120-150 días
	Aspergillus flavus	12 °C 16 °C ← 30 °C	H.R mínima para su desarrollo 95% 90% 81%	

Tabla 7: Condiciones favorables para el desarrollo de bacterias y hongos ^[281].

3- Insectos y roedores

Existe una gran variedad de insectos que pueden destruir los materiales celulósicos. Debido a la gran amplitud que puede adquirir este apartado, vamos a describir los insectos más usuales que podemos encontrar.

Existen unas cien variedades divididas en dos grupos: los permanentes y los ocasionales. Los primeros son insectos celulósicos que se alimentan de celulosa,

²⁸¹ Datos recopilados del libro de GALLO, F., *Biological Factors in deterioration of paper*, Ed. ICCROM, Roma, 1985, pp. 132-133.

engrudo, etc., del papel y los segundos, son los xilófagos que se alimentan de madera pero que también pueden atacar el papel^[282].

Estos insectos pueden introducirse por las ventanas, huecos o provenir de otros materiales contaminados y dejar los huevos en los materiales celulósicos. Así empieza el ciclo de vida: huevo, larva (fase más destructiva), ninfa e insecto. Estos insectos se desarrollan más velozmente en ambientes oscuros, húmedos, mal ventilados y cálidos y, suelen detectarse porque dejan materiales fecales en forma de polvo o granos de madera o en el caso del papel galerías escabrosas^[283 y 284]. Los insectos más comunes son de las familias tisanuros, blátidos y isópteros, y se alimentan básicamente de papel, cuero, pergamino, colas, etc.^[285] [ver tabla 8].

- Familia de los Tisanuros, el pececillo de plata o lepisma. Se alimenta de hidratos de carbono: engrudos, colas, gelatinas fotográficas, etc. Son lucífugos, por lo que no les gusta la luz, sólo salen por la noche y ponen sus huevos en zonas oscuras como las hendiduras e irregularidades de las encuadernaciones. Existen por todo el mundo y sus efectos son característicos porque carecen de galerías y erosionando la superficie de las obras.

- El piojo o pulga del libro es de la orden psocóptera. Son de tamaño diminuto y se alimentan de engrudos, colas y hasta hongos. La larva y el adulto sólo se diferencian en el color, que es más claro en la larva. Viven preferentemente en temperaturas de 25°C a una humedad de 80-90% y en la oscuridad^[286].

- Las termitas, llamadas también hormigas blancas son isópteros, insectos xilófagos son capaces de destruir todo (de madera incluidos libros) por donde pasa.

²⁸² CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p. 23.

²⁸³ RODRÍGUEZ LASO, M., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 1999, p. 149

²⁸⁴ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 85.

²⁸⁵ CANEVA, G., NUGARI, M.P., SALVADORE, O., *La biología en la restauración*, Ed. Nerea, Hondarribia, 2000, pp. 93-94.

²⁸⁶ RODRÍGUEZ LASO, M., *El soporte de papel y sus técnicas. Degradación y conservación preventiva*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 1999, p. 151.

Son lucífugas y prefieren los ambientes húmedos y cálidos, preferentemente en climas templados.

La reina y el rey ponen los huevos y las obreras son las que excavan las galerías en la madera, pudiendo pasar a los libros que están en contacto con la madera. Al ser lucífugas, su acción destructiva no se hace evidente hasta que es demasiado tarde [287].

- Las cucarachas son de la familia dictiópteros y también degradan el papel comiéndoselo y produciendo excrementos líquidos por la noche sobre todo. Se alimentan también de cuero, pergamino y tisú. Viven unos tres años máximo, a 25-30°C y 70% de humedad relativa.

- Los gusanos del libro son las larvas de muchas especies bibliófagas. Las larvas son las que perforan el libro y que además segregan sustancias gomosas que pueden pegar las hojas entre sí. Estos gusanos pueden ser del grupo de los anóbidos, del orden de los coleópteros, etc. Sólo se desarrollan en condiciones favorables y salen al exterior cuando ya son adultos [288].

○ **Roedores**

Los roedores también pueden degradar el papel porque lo utilizan para preparar sus nidos y a la vez depositan orina y excrementos. Prefieren los lugares húmedos, sombríos y calientes. Los roedores más comunes son ratones y ratas, y éstos pueden transmitir enfermedades al hombre. Ejercen una degradación química y fisicomecánica, y son fácilmente detectables por la marca de dientes que dejan y sus excrementos [289 y 290].

²⁸⁷ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, E d. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, pp. 23-24.

²⁸⁸ CANEVA, G., NUGARI, M.P., SALVADORE, O., *La biología en la restauración*, Ed. Nerea, Hondarribia, 2000, p. 93.

²⁸⁹ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, pp. 93-94.

La tabla siguiente recopila ^[291 y 292] los insectos más comunes que se pueden encontrar en los materiales de los libros:

Orden	Familia	Nombre común	Tipo de daño
TISANUROS	<i>Lepismatidae</i>	Pececillos de plata	Pequeñas erosiones superficiales de contorno irregular.
ISOPTEROS	<i>Rhinotermitidae</i> <i>Hodotermitidae</i> <i>Termitidae</i> <i>Kalotermitidae</i>	Termitas u hormigas blancas	Vorágines en forma de cráter y erosiones vastas y profundas; destrucción de la parte interna del objeto, mientras que la parte externa permanece intacta.
COLEÓPTEROS	<i>Anobiidae</i>	Carcomas de la madera	Tortuosas galerías y orificios circulares.
	<i>Lyctidae</i>	Carcomas	Galerías y orificios sección circular.
	<i>Demestidae</i>		Cortos túneles ciegos circulares y perforaciones irregulares
CORRODENTIA	Liposcelidae	Pulgas o piojos de los libros	Pequeñísimas abrasiones superficiales.
BLÁTIDOS	Blattidae Blattellidae	Blátidos o cucarachas	Erosiones superficiales de márgenes irregulares.

Tabla 8. Tabla recopilatoria de los insectos dañinos para el papel.

V.3.2.3 Manipulación incorrecta del hombre

1- Uso indebido

El uso de un documento implica su degradación debido al roce, la grasa o suciedad de las manos, tensiones ya sea al pasar de hoja o por cualquier otra causa, rotura de los bordes, doblar la esquina de la hoja para marcar por donde uno iba leyendo, hacer

²⁹⁰ VAILLANT, CALLOL, M., VALENTIN RODRIGO, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro* ed. Ministerio de educación y cultura-IPHE, Madrid, 1996, pp. 65-66.

²⁹¹ VAILLANT CALLOL, M., VALENTIN RODRIGO, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro* ed. Ministerio de educación y cultura-IPHE, Madrid, 1996, p. 68.

²⁹² CANEVA, G., NUGARI, M.P., SALVADORE, O., *La biología en la restauración*, Ed. Nerea, Hondarribia, 2000, p. 94. LaTabla aparece en este libro.

anotaciones ya sea con lápiz o con bolígrafo, cortar con tijeras u otro utensilio una parte del libro que le interesa, pegar con celo lo que se ha rasgado o las cubiertas del libro rotas, etc., son acciones que deterioran el estado del papel. No obstante, no son las únicas causas de deterioro causado por el hombre, un restaurador debe tener sumo cuidado con los adhesivos que introduce, porque algunas colas son ácidas, pueden provocar la proliferación de hongos, y aparte, tensiones físicas en el papel. El almacenamiento incorrecto, es decir, falta de ventilación, humedad relativa excesiva, exposición solar prolongada, contacto con materiales ácidos, polvo, etc., aceleran inevitablemente la degradación del material celulósico ^[293].

2- Accidentes

Existen otro tipo de peligros que amenazan al patrimonio librario y que son imprevisibles como:

- Las catástrofes naturales como por ejemplo las inundaciones que vienen normalmente unidas a fangos con diversas sustancias contaminantes. Éstas pueden disolver productos contenidos en las hojas (adhesivos), pudiendo desfigurar los dibujos y uniendo las hojas entre sí. Además, con el tiempo pueden aparecer la proliferación de hongos si no se limpia a tiempo.

Los terremotos pueden sepultar o destruir todo, es decir, edificios con las obras que guardan. Las erupciones volcánicas primero sepultan con cenizas las obras y luego aparece la lava.

Los accidentes o las acciones provocadas por el hombre como los actos bélicos (bombas, proyectiles, sustancias químicas que se echan...) y los incendios (accidentales o no) arrasan con todo, sin opción a cualquier restauración ^[294 y 295].

²⁹³ DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, p. 13.

²⁹⁴ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, pp. 96-105.

²⁹⁵ VAILLANT CALLOL, M., VALENTIN RODRIGO, N., *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro* ed. Ministerio de educación y cultura-IPHE, Madrid, 1996, pp. 62-65.

VI Consolidación de los soportes celulósicos

La consolidación del papel consiste en devolver la resistencia mecánica al soporte papel para poder manejarlo sin ningún riesgo para su integridad.

Una obra sobre soporte papel tiene un tiempo de vida limitado. La degradación del papel es algo irremediable por la propia naturaleza y calidad de los materiales que lo constituyen; el aumento de temperatura y humedad relativa, una iluminación indebida, desarrollo de hongos o diferentes tipos de microorganismos y, el trato o uso negligente de las personas, influirán y aumentarán su degradación hasta su destrucción si no se pone remedio. Por otra parte, las alteraciones físicas (causadas por humanos o insectos), provocan variaciones químicas que disminuyen la resistencia mecánica del papel y hacen que el manejo de éste sea peligroso para su conservación. Por lo tanto cuando esto sucede, se recurre a la consolidación. No obstante, antes de emplear cualquiera de las técnicas de consolidación, se aconsejan diferentes pautas a llevar a cabo.

- Eliminar las causas de degradación de la obra.
- Desacidificación: sólo cuando el papel mantenga una resistencia mecánica suficiente para soportar un baño.
- Búsqueda del mejor método de consolidación si esto fuera estrictamente necesario. Es decir, cuando la manipulación del soporte celulósico sea un factor de riesgo para su integridad física. En esos casos, se debe consolidar por una o ambas caras, con un papel sutil y transparente que permita la lectura de éste y no sea demasiado rígido.

VI.1 Técnicas de consolidación

Existen diferentes técnicas de consolidación. Como se ha mencionado, es necesario antes de este tratamiento, saber si es necesario realizar este proceso y eliminar cualquier causa de degradación, entre las cuales puede haber sistemas de consolidación antiguas que perjudiquen a la obra y que no sean necesarias. Por este motivo vamos a conocer en primer lugar las operaciones de consolidación que se

empleaban en siglos anteriores. En el siglo XIX, la consolidación consistía en aplicar un papel sutil, o velo de seda transparente y resistente, con un adhesivo que normalmente era cola de harina ^[296].

VI.1.1 Técnicas antiguas de consolidación

Desde el siglo XIX, se han intentado inventar diferentes métodos para devolver al papel cierta resistencia y poder de esta manera, manipularlo sin peligro. Sin embargo muchos de estos métodos perjudicaban la obra de papel. A continuación, se exponen los más empleados; algunos de estos métodos han evolucionado y persisten hoy en día.

VI.1.1.1 Consolidación mediante materiales plásticos “Celuloide”

En 1932, Leti propuso emplear un material plástico obtenido industrialmente mediante gelificación de la nitrocelulosa con alcohol y alcanfor, para consolidar los documentos frágiles. Este gel de “celuloide” se aplicaba sobre el documento gota a gota hasta cubrirlo o con un pincel. Posteriormente se dejaba secar y así se podía manipular el documento con precaución ^[297].

VI.1.1.2 Laminación

Esta técnica ^[298] fue propuesta en 1934 en el “National Bureau of Standards” para consolidar periódicos. Consistía en laminar el reverso y anverso de papeles frágiles, con acetato de celulosa que en un principio eran sutiles y transparentes. Estos papeles con acetato eran sometidos a una presión determinada con una temperatura

²⁹⁶ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, p. 33.

²⁹⁷ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, p. 35.

²⁹⁸ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, pp. 38-42.

elevada hasta conseguir que el acetato se fundiese y penetrase entre las fibras del papel.

En 1936, los Archivos Nacionales de Estados Unidos, añadieron un plastificante a esta técnica para disminuir la temperatura de fusión del polímero y también reducir daños en el documento tratado. La presa hidráulica se calentaba hasta 150 °C.

Este proceso tenía como inconvenientes que el acetato amarilleaba rápidamente, a veces se despegaba de la hoja y en el resto de ocasiones era irreversible, lo que ponía en peligro la durabilidad de la obra.

En 1939, Barrow, sustituyó la prensa hidráulica por rodillos planos que rodaban en sentido contrario a una temperatura de 140-150 °C. Los documentos se laminaban con las hojas de acetato de celulosa y otras 2 hojas de papel tisú.

Esta técnica tenía como inconveniente el aumento de grosor y la disminución de la visibilidad del documento. No obstante, aumentaba mucho la resistencia mecánica.

Existieron más experimentos de laminación en el siglo XX, como por ejemplo, la laminación con acetato de celulosa o cloruro de polivinilo estudiado por Ruggiero en 1954. Este sistema era perjudicial para el papel porque por cada 10 °C que se calentaba, el papel aumentaba su degradación por dos.

Posteriormente se realizaron pruebas en Alemania consiguiendo reducir la temperatura a 80 °C y la presión a 30 kg por metro cuadrado con acetato de celulosa: El sistema se llamaba “Ultraplan HK”.

Más adelante, inventaron la laminación con adhesivos sensibles a la presión. Esta técnica consistía en poner en contacto hojas de plástico con las de papel y tras la aplicación de una baja presión y poca temperatura se adherían, formando una hoja de papel estratificado y más resistente. No obstante no satisfacían a los restauradores porque en papeles frágiles no se podía utilizar y además, algunos plásticos utilizados amarilleaban, (cloruro de polivinilo) y otros, en temperatura ambiente se adherían a las hojas adyacentes creando bloques o el polvo se pegaba al plástico ^[299].

²⁹⁹ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, pp. 38-42.

VI.1.1.3 Laminación con solventes

Este método se desarrolló en los años cincuenta en el “National Archives of India”. Consiste en colocar encima del papel fragilizado, un acetato de celulosa y papel japonés encima. Posteriormente, se pasa un rodillo empapado de acetona que disuelve el acetato de celulosa, funcionando como un adhesivo entre el documento y el papel japonés.

El inconveniente de este sistema es que hay que tener un gran control de la cantidad de solvente que se utiliza. Es decir que si hay demasiado, puede disolver demasiado el acetato y provocar que penetre excesivamente entre las fibras del documento. Si por el contrario, se emplea poco disolvente, el acetato no se adherirá lo suficiente ni al papel frágil ni al papel japonés.

VI.1.1.4 Consolidación mediante la separación de capas (exfoliación)

En el siglo XIX, 1848, Baldwin creó una técnica para permitir leer los textos. Consistía en separar cada hoja en dos e insertar un papel de refuerzo en su interior para consolidarlo.

En un principio se adherían a la superficie de la obra de papel, fragmentos de tela, cuero o pergamino y una vez seco se tiraba en sentido opuesto para dividirla. Una vez fragmentada la obra en dos, se adhiere un papel de refuerzo y se encola todo posteriormente.

Debido a la pérdida de muchas obras Bonnardot propuso que una cara de la obra se pegase a una mesa totalmente limpia y la otra se procediera igual que lo mencionada anteriormente.

A pesar de todo esta técnica era muy arriesgada y fue rechazada en 1898 en la “Conferencia de S. Gallo”^[300].

³⁰⁰ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, p. 34.

VI.1.2 Técnicas actuales de consolidación

Actualmente para consolidar el papel, se suele aplicar consolidantes en la superficie del papel para devolverle su resistencia mecánica. Sin embargo, en algunas ocasiones, esto no es factible o suficiente y se debe recurrir a la laminación^[301]. La disminución de la resistencia del papel se debe a la eliminación o debilitamiento del apresto por un ataque de microorganismos o después de un proceso de limpieza acuosa. El apresto pierde sus propiedades y el papel queda expuesto a una mayor degradación.

A continuación, se comentan las diferentes técnicas que existen para el aumento de la firmeza y solidez del papel.

VI.1.2.1 Consolidación mediante adhesivos

La elección de cada intervención está sujeta al grado de deterioro, tipo de papel, técnica pictórica y al uso que se le va a dar. La aplicación de un consolidante en un papel puede realizarse de tres maneras diferentes: pincel o brocha, spray (aspersión) y en baño (inmersión)^[302]. La mayor penetración de las soluciones se consigue utilizando un disolvente dentro de los parámetros de solubilidad del consolidante (polímero)^[303]. Para conseguir la máxima adhesión, el papel debe estar limpio y la solución que se desea aplicar debe tener baja viscosidad.

La consolidación no es reversible completamente, por lo que hace obligatorio emplear el mínimo posible de materiales estables, durante un tratamiento. La distribución de este adhesivo, deberá ser homogéneo para evitar lo máximo posible, tensiones entre el soporte y el nuevo material introducido. La tabla que mostramos a continuación enumera diferentes tipos de consolidantes.

³⁰¹ VERGARA, J., *Conservación y Restauración de material cultural en Archivos y Bibliotecas*, Ed. Biblioteca Valenciana, Valencia, 2002, p. 53.

³⁰² COPEDÉ, M., *La carta e il suo degrade*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, pp. 108-109.

³⁰³ DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, p. 25.

CONSOLIDANTES			
CONSOLIDANTE	PROPORCIÓN	MÉTODO DE APLICACIÓN	COMENTARIOS
Alcohol polivinílico	10 % en agua	Brocha	Materiales sintéticos que no se emplean en la actualidad porque producen cambios perjudiciales e irreversibles en los soportes celulósicos
Nylon soluble	2% en alcohol metílico, etílico, desnaturalizado o metilado	Pulverización, aspersion o brocha	
Almidones (harina de trigo o arroz)	2 % en agua	Inmersión o aspersion	Más o menos estables, aunque se deben estudiar y aplicar con cautela.
Gomas (algas marinas)	2,5 % en agua	Inmersión	
Acetato de Celulosa (material sintético)	2 % en acetona	Aspersion o brocha	
Hidroxipropilcelulosa (material sintético)	2 % en etanol	inmersión	
Gelatina (adhesivo proteico)	50 g. en 3 l de agua	Brocha	Han demostrado ser los más estables, fáciles de aplicar y económicos.
	1,5 g/l en agua	Brocha o inmersión	
	2 % en agua	Inmersión o aspersion	
	0,8 g/l en agua	Aspersion	
	30 g/l en agua	Inmersión	
Carboximetilcelulosa de sodio (material sintético derivado de la celulosa)	2-4 % en agua	Brocha	
	0,2 % en agua	Inmersión	
Metilcelulosa (material sintético derivado de la celulosa)	2-4 % en agua	Brocha	
	1-2 % en agua	Brocha o aspersion	
	0,5 % en agua	Inmersión	

Tabla 9. Soluciones de consolidantes más usadas para la consolidación de papel. En esta tabla vemos tanto productos sintético como naturales. Casi todos los polímeros expuestos producen alteraciones por lo que su uso deberá ser limitado y ampliamente estudiado antes de ser aplicado sobre cualquier obra celulósica ^[304].

³⁰⁴ Tabla similar a la del autor DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, pp. 26-29.

Los adhesivos mencionados tienen como función, aumentar las propiedades mecánicas del soporte. No obstante, no deben modificar ni el pH, ni la densidad óptica del papel (amarillamiento), ni provocar variación en el peso o en las dimensiones.

En otras ocasiones, también se ha empleado pasta de almidón para devolver el apresto al papel o resinas sintéticas parecidas a la gelatina animal – agua de tilosa- o también el Paraloid B72 ^[305], aunque este producto es más un fijativo que un consolidante.

VI.1.2.2 Laminación

La laminación sólo se efectuará en casos extremos o cuando sea estrictamente necesario. Es decir, cuando el papel haya perdido su resistencia, exista peligro para su integridad a la hora de manejarlo, y los sistemas de consolidación habituales sean limitados o no recomendables ^[306].

Antes de emplear esta técnica, el documento tiene que estar exento de cualquier tipo de agente endógeno que pueda provocar un deterioro en la obra ^[307].

La laminación puede efectuarse añadiendo sólo por el reverso del papel una hoja de papel japonés de unos 9-11 g/m² ^[308] o en las dos caras cuando el papel es muy grueso (en papeles como carteles, papeles de grabado...), que podrían curvarse por diferencias de tensión entre los dos papeles.

Esta técnica puede ser manual o mecánica realizada con diferentes adhesivos (sólido, acuoso o disueltos en disolventes) como podemos ver en la siguiente figura [figura 29]. Los parámetros que determinan la técnica de laminación son el estado de conservación, solubilidad de las tintas y de los colores y el tamaño.

³⁰⁵ FEDERICI, C., *Manuale di conservazione e restauro del libro*, Ed. NIS, Roma, 1983, p. 76.

³⁰⁶ RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica. Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 113.

³⁰⁷ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p. 97.

³⁰⁸ COPEDE, M., *La carta e il suo degrade*, Ed. Nardini, Firenze, 1991, p. 109.

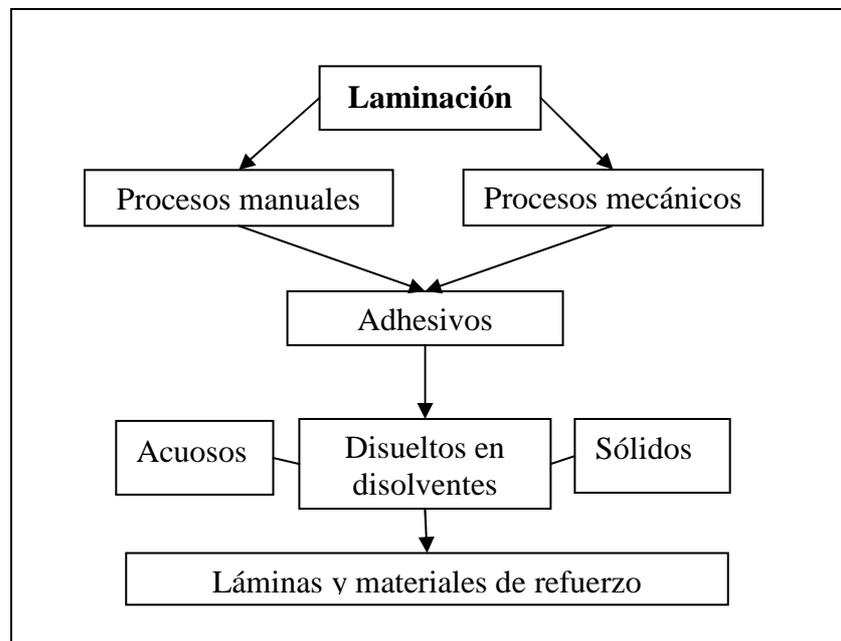


Figura 29: Esquema de tipos de laminación según Pedro Barbáchano^[309]

1. La laminación con procesos manuales

Antes de laminar manualmente, se deberá saber si el proceso es estrictamente necesario. Se limpiará, desacidificará y alisará el papel. El papel japonés o tisú hecho a mano, que se vaya a adherir al papel fragilizado deberá ser similar y no físicamente superior, porque provocaría problemas de estabilidad. El adhesivo que se suele utilizar para estas operaciones es el almidón, metilcelulosa o metilcelulosa con PVA poli(vinil acetato).

El proceso consiste en humedecer el papel con agua y alcohol (1:1) o aprovechar después de un lavado o tratamiento acuoso para realizar el encolado.

Sobre una superficie no porosa como un cristal, se coloca un soporte flexible y transparente como Mylar y encima Reemay. Posteriormente se deposita el papel y se procede al tratamiento. El adhesivo se aplicará homogéneamente del centro hacia los

³⁰⁹ BARBACHANO, P. “San Millán Diferentes alternativas a la laminación de soportes de papel”, VI Congreso de Conservación de B.C., Ed. Generalitat de Catalunya, Departamento de Cultura, Barcelona, 1988, pp. 324-325.

extremos con una brocha suave ^[310] o rodillo. Se superpone otro Reemay, Mylar y otro soporte impermeable y se introduce en la prensa. Acelerar el secado es contraproducente, provocaría un secado irregular y forzado de las fibras.

2. Laminado con procesos mecánicos

Para un proceso mecánico se necesita una laminadora o prensa hidráulica que a través de unas placas calienta las láminas de adhesivos termoplásticos (0,025-0,05 mm) para que se pegue a las hojas de papel debilitado y al papel japonés. El tiempo del proceso depende del adhesivo pero tarda unos segundos. Existen diferentes técnicas de laminación mecánica que se enumeran a continuación:

1- Laminación en seco

Técnica creada en los años 70 en Italia. En un principio se aplicó un film de acetato de celulosa revestido con un adhesivo que posteriormente se prensaba y calentaba a 70°C. Esta técnica fue desechada por ser perjudicial para los documentos porque podía deformar la obra o provocar la proliferación de hongos.

Posteriormente en Paris, desarrollaron una técnica similar pero con un tejido sintético de poliamidas y un adhesivo termofusible poliamídico. Este folio con el aumento de la temperatura fundía y adhería el papel al tejido sintético. Pero, el aspecto final no gustaba porque era de plástico y este método se dejó de emplear.

A partir del año 1978, se comienza a emplear papel japonés previamente impregnado con una resina acrílica termofusible, Paraloid-B72, porque se conocía su envejecimiento artificial y natural. Esta técnica consiste en formar un sándwich del documento entre papeles japoneses impregnados de Paraloid-B72 que a su vez están entre papel de silicona, que a su vez se encuentran entre cartones dentro de una prensa. El esquema aclaratorio del sándwich es el siguiente [Figura 30].

³¹⁰ VERGARA, J., *Conservación y Restauración de material cultural en Archivos y Bibliotecas*, Ed. Biblioteca Valenciana, Valencia, 2002, p. 53.

Posteriormente todo el conjunto se calienta a 70°C durante 60 segundos que es el tiempo necesario para que el Paraloid-B72 se reblandezca y se adhiera al documento. Por último, se elimina tanto los cartones como el papel de silicona y se corta el papel japonés que sobresale del documento original ^[311].

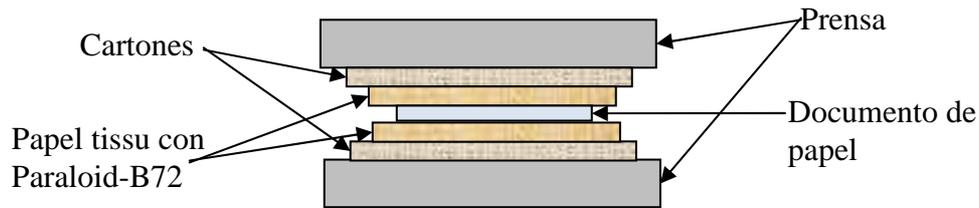


Figura 30. Esquema de la laminación en seco.

A parte de la laminación en seco, también se puede realizar en húmedo y mediante impregnación.

2- Laminación por impregnación

Este sistema es semejante a la laminación en seco sin embargo, las dos películas adhesivas que se emplean, son termoplásticas. Esto significa que deben fundirse para impregnar y penetrar entre las fibras del documento. Esta técnica fue empleada en los años setenta en los archivos de Belgrado, con polietileno a 115°C y en la biblioteca nacional central de Florencia, con acetato de celulosa a 90°C.

El inconveniente de esta consolidación es su escasa reversibilidad. La temperatura para su eliminación es muy superior a los 90-115°C. Se puede emplear para la eliminación del acetato de celulosa disolventes como la acetona a temperatura ambiente y para el polietileno, decalina (deca-hidro naftaleno) a 80°C.

3- Laminación en húmedo

Esta técnica comenzó en el siglo pasado y aún se utiliza hoy en día. Se caracteriza por utilizar un adhesivo en solución, emulsiones o suspensión acuosa para adherir el

³¹¹ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, pp. 47-49.

estrato de refuerzo de seda o papel tisú a un papel frágil. Este método no aplica calor a la obra pero, no se puede utilizar en obras sensibles al agua como la acuarela, témpera, etc. Los adhesivos que se suelen emplear son la pasta de almidón, metilcelulosa o mezcla de ambas ^[312]. Este sistema proporciona un tacto fino y transparente. No obstante, puede causar diferentes degradaciones por lo que no es muy empleado entre los restauradores.

○ **Desventajas**

- Puede dañar colores, tintas solubles al agua (acuarelas, dorados en miniaturas).
- Puede hacer variar las dimensiones de diferente manera sobre todo en los papeles fabricados a máquina (porque las fibras se colocan en una misma dirección).
- Puede deformar mapas y dibujos arquitectónicos al variar las dimensiones del papel.

VI.1.2.3 Inconvenientes del laminado

El laminado en sí, refuerza la resistencia del papel. No obstante, cuando la lámina pierde su función o es perjudicial para la obra, su eliminación es una operación delicada porque el papel puede sufrir degradaciones, hacer perder dibujos o escritura, modificar la estructura y dimensiones originales, ondular el papel con gran formato, disminuir la flexibilidad del papel, etc.

El uso de sustancias químicas para la supresión de pegamento y sustratos ajenos a la obra de papel, pueden causar daños en el equilibrio del papel, resecarlo, dejar residuos de productos nocivos, y hacer que las tintas de grabado se vuelvan solubles ^[313].

³¹² RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica. Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 114.

³¹³ JAMES, C., CORRIGAN, C., ENSHAIAN, M.C., GRECA, MR., *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni e stampe antichi*, Ed. Leo S. Olschki, Firenze, 1991, p. 157.

A continuación se exponen diferentes ejemplos de láminas que se utilizan en estos tratamientos.

1. Polietileno

Las laminaciones con polietileno tienen diferentes inconvenientes:

- Dotan a la obra un aspecto plastificado, perdiendo de esta manera la textura de la superficie del papel y la reversibilidad.
- Existe un gran peligro durante este proceso. Mientras el documento permanece dentro de la máquina, puede producirse un gran daño en la obra y no se puede hacer nada.
- Este tipo de laminado sólo es reversible con un disolvente orgánico a 65-70°C. Las obras tienen que someterse a dos baños. El primero consigue eliminar los tisús y algo del producto, y el segundo el resto.
- Estas operaciones crean roturas y pérdidas en la obra y, el disolvente disuelve y afecta las tintas de los textos ^[314].
- La estabilidad del polietileno es cuestionada en algunos congresos ^[315].
- Este estrato tiene muchos agujeros de diferente tamaño. Debido a esto, pasan vapores de agua dentro.

- **Alcoholes poli vinílicos y resinas acrílicas**

Existen otros productos como los alcoholes polivinílicos y las resinas acrílicas que están ya preparados para la laminación mecánica. Estos materiales están libres de ácido, con un pH neutro y se venden en film sobre papeles siliconados o sobre papel tisú. También los hay en emulsión acrílica ya incorporado en tisú Crompton o en nylon tisú.

- LAMATEC: Incorporado el alcohol polivinílico al tisú por una o ambas caras o en película.

³¹⁴ V.V.A.A., Novedades en los sistemas de laminación y reintegración mecánicas, *VII Congreso de Conservació de Bens Culturals*, Ed. Generalitat Valenciana, 1990, pp. 541-546.

³¹⁵ NYUKSHA, P., SERGLEVA, L.E., *Paper lamination: biological aspects*, Ed. ICOM 8th trienal meeting vol.II, Sidney, 1987.

- B-50 de la Biblioteca Británica: es una combinación de TXYCRIL (60%) y PARALOID (40%) en film o impregnado en tisú.

El mayor inconveniente de estos productos o tisús, es que no tienen suficiente transparencia y son demasiado gruesos ^[316].

Las mejores laminadoras son las que sustituyen las prensas de calor. Estas trabajan al vacío y con calor, reduciendo de 30-40°C la temperatura de trabajo. De esta forma no se eliminan los posibles relieves de una obra. La reversibilidad se efectúa a temperatura ambiente y con alcohol o acetona. Sin peligro para la obra. El tisú empleado es el kuranay, más transparente.

VI.1.2.4 Encapsulado

Este método no es de consolidación sino es un sistema preventivo para proteger la obra de los agentes externos de degradación, el manejo de las personas, etc. Se incluye porque su uso puede hacer que la obra sea introducida entre dos hojas de tereftalato de polietileno ^[317] (Mylar) o de polyester ^[318], como si de un sobre se tratase y posteriormente se aísla herméticamente del exterior mediante cinta adhesiva de doble cara.

Para preparar el sobre, normalmente se cortan las dos hojas a 2,5 - 4 centímetros del borde de la obra a lo largo de todo el perímetro de ésta. Posteriormente la obra es posicionada en el centro de una hoja de Mylar y se pone la cinta adhesiva a unos 3 milímetros del documento para que éste no tenga demasiado movimiento. Para unir las dos hojas de Mylar también se utiliza los ultrasonidos y la termofusión que funden el tereftalato por tres caras. La última cara siempre se deja libre para introducir la obra y cerrarla posteriormente con cinta adhesiva. Por último se corta el perímetro del sobre a 1-3mm de la cinta adhesiva.

³¹⁶ BARBACHANO, O., BENY, A., GUERRERO, I., MERINO BAÑOS, M., “Novedades en los sistemas de laminación y reintegración mecánicas”, *VII Congreso de Conservació de Bens Culturals*, Ed. Generalitat Valenciana, Valencia, 1990, pp. 541-546.

³¹⁷ RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica. Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 114.

³¹⁸ MORROW C., “*Conservation treatment procederes: A manual of step-by-step procedures for the maintenance and repair of library materials*” Ed. Libraries Unlimited, INC., Colorado, 1982, pp. 91-93.

Para eliminar el aire se suele poner peso.

Inconvenientes: el volumen y peso del conjunto aumentan. El poliéster no es recomendado para obras realizadas en carboncillo, lápiz o pastel debido a las cargas estáticas que se pueden producir.

VI.2 Adhesivos

Existen diferentes tipos de adhesivos que son empleados en restauración. Todos ellos deben cumplir unas características específicas para que no deterioren las obras sobre papel.

La adhesión entre la cola y el material se debe a la penetración y fijación de los adhesivos a los poros del material de las dos superficies que se ponen en contacto ^[319]. Por este motivo, su reversibilidad no es completa y por esta razón debemos buscar un material estable, inocuo –entre otras cualidades- y que sea lo más afín a la obra, para que su envejecimiento sea lo menos perjudicial para la obra.

Sin embargo, a pesar de la inocuidad y calidad de los materiales, siempre tienden a deteriorarse y perder sus cualidades iniciales, perjudicando más o menos a la obra que sustenta.

A continuación se exponen las características que deben cumplir los adhesivos en restauración, qué tipo de colas se emplean y cuáles son sus desventajas.

VI.2.1 Características

Los adhesivos que se empleen en restauración de obras de arte, tienen que tener ciertas características para no perjudicar a la obra ^[320]. Las colas deben de tener

³¹⁹ JOHNSON, A.W., *Il restauro del libro*, Ed. MEB, Padova, 1989, pp. 22-24.

³²⁰ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, p. 34.

flexibilidad, neutralidad, estabilidad, resistencia biológica, reversibilidad, fácil empleo e inocuidad ^[321]. Es decir:

- No deben cambiar de color con el tiempo con o sin luz.
- El adhesivo debe extenderse con facilidad y formar un film homogéneo y continuo en seco.
- El film creado no debe ser ni frágil ni pegajoso. La manipulación de la obra no debe ser peligrosa; el film no debe despegarse ni tampoco debe permitir que se le adhieran elementos extraños (contaminantes, otros materiales, hojas...).
- Debe ser reversible con más de un solvente.
- Resistente a la acidez o alcalinidad de otros materiales.
- Permeable al vapor de agua para evitar contracciones y dilataciones del papel, o la absorción de agua de diferente forma en diferentes partes del papel.
- Los aditivos deben ser inertes y que no migren al papel.
- La resina base no debe necesitar plastificantes ni desinfectantes.

VI.2.2 Sustancias adhesivas

Las sustancias adhesivas que se emplean en restauración son de origen natural, semisintético y sintético.

A continuación, se exponen los tipos de adhesivos agrupados según su naturaleza. Para cada cola se enumerarán sus características, ventajas y desventajas.

VI.2.2.1 Adhesivos naturales y orgánicos.

Las colas naturales son orgánicas origen vegetal, animal y la caseína.

Estas colas tienen diferentes características:

- Son higroscópicas.

³²¹ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 193.

- Tienen base de agua y se diluyen en agua.
- Se pueden eliminar con agua.
- Con aditivos químicos, se varía su pH neutro y su reversibilidad.
- En presencia de humedad el adhesivo se hincha y puede ser la causa de la aparición de hongos, bacterias, insectos y parásitos.

1- Almidón

El almidón está compuesto por amilasa y amilopectina, y se extrae del arroz, maíz, cereales, patatas, granos, etc., siendo las tres primeras las más comunes. Los gránulos de almidón se consiguen, separándolos mediante calor o con sosa cáustica del resto de la planta ^[322].

Las características de este material son las siguientes:

- Forma un estrato fino y flexible.
- Posee buena adherencia y flexibilidad.
- Aumenta la resistencia al pliegue del papel.
- El pH y la resistencia son óptimos a través del tiempo. Menos cuando es mezclado con otras sustancias químicas.
- Amarillea poco al envejecer.

Esta cola es buena para la restauración de papel y cuero, sobre todo para rellenar lagunas. No obstante, puede provocar deformaciones en el soporte y ser atacada por insectos, hongos y bacterias para alimentarse.

Su preparación consiste en mezclar la cola en polvo con agua -100g en medio litro de agua fría-. Todo ello, se calienta al baño maría de entre 55-80°C. Una vez homogéneo y caliente, se retira y se cubre con polietileno ^[323].

- Cola de dextrina

Del almidón también se puede extraer la cola de dextrina, que es un producto de desecho. Se obtiene calentando el almidón con y sin agentes de hidrólisis. Se emplea

³²² JOHNSON, A., *Il restauro del libro*, Ed. MEB, Padova, 1989, pp. 22-24.

³²³ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 194.

en restauración manual porque tiene buena adhesión y es estable. Sin embargo, forma un estrato rígido que no resiste a los ataques de los micro-organismos.

2- Harina (Cola de harina)

La cola de harina es una cola vegetal ^[324]. Posee carbohidratos (almidón) y proteínas (gluten), por lo que se obtienen mejores propiedades adhesivas durante la aplicación que la cola de almidón ^[325]. Las harinas más comunes son las de arroz y trigo.

Las mejores características de este adhesivo son que presenta buena reversibilidad en agua, buena adhesión y fácil empleo. Su resistencia mecánica al pliegue es buena.

Se utiliza sobre todo en refuerzos, reentelados y en restauraciones manuales. No obstante, esta cola tiende a ser ligeramente amarillenta y granulosa. El gluten la fragiliza y con el tiempo, el pH disminuye y amarillea mucho incluso llega a ser marrón al envejecer. Además, deforma el soporte y pierde flexibilidad.

3- Cola de pieles

Existen varios tipos de colas animales: cola de pieles, de pescado, de pergamino y gelatina. Se obtienen en general hirviendo pieles, huesos, etc. de animales.

La cola de pieles se obtiene hirviendo la piel de los conejos para extraer su colágeno.

Esta cola tiene como característica que es insoluble en frío y poco en caliente.

Este tipo de cola se emplea para soldaduras, cosidos, consolidaciones de papel.

Los inconvenientes que presenta la cola de piel es que amarillea, se cuartea al envejecer y puede ser atacada por microorganismos.

³²⁴ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 194.

³²⁵ En <http://www.antoniosanchezbarriga.com/search/label/Colas%20org%C3%A1nicas>
Existen otros adhesivos... que se realizan con harina y se utilizaban como imprimación, como la descrita por Volpato en 1698: Se mezclan una parte de harina de centeno y 15 partes de agua muy caliente. Giovanni Battista Armenini (1530/33-1609), describe la preparación de las telas: Si las telas fuesen demasiado abiertas, se añade un poco de harina cernida a la cola. (recordad las telas napolitanas llamadas de pavimento)

4- Cola de pergamino

La cola de pergamino es de origen animal. Su preparación consiste en cocer el pergamino en el agua (200g en 1l de agua) y filtrarlo después para obtener una sustancia gelatinosa.

Se emplea sobre todo para pegar pergamino pero también papel. Este material tiene buena adherencia, flexibilidad y resistencia a microorganismos. No obstante, su uso deforma el soporte ^[326].

5- Cola de pescado

Esta cola animal orgánica, se consigue extrayéndola de la cocción de pieles y otros desechos de pescado en agua ligeramente ácida.

Se utiliza como adhesivo y también para proteger policromías y consolidar papel. Esta cola tiene buena adherencia y es reversible en agua caliente. Sin embargo, tiene un color marcado, es poco flexible y puede ser atacada por microorganismos ^[327].

6- Gelatina

La gelatina proviene de la purificación de la cola animal. La gelatina se hincha en agua fría y se disuelve calentándola. Por este motivo, esta cola se extiende o aplica en caliente. El gel forma un film al enfriarse y evaporarse el agua.

Se emplea la gelatina para pegar papel, en laminaciones y como fijativo. Pero este material tiene bastantes inconvenientes ^[328]:

- El film tiende a encogerse una vez seco.
- No es un buen fijativo y es poco reversible.
- Se hincha en presencia de agua.
- La resistencia mecánica es buena cuando el gel es reciente pero al envejecer pierde esa resistencia.

³²⁶ JOHNSON, A., *Il restauro del libro*, Ed. MEB, Padova, 1989, pp. 22-24.

³²⁷ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 196.

³²⁸ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 196.

- Amarillea y el pH disminuye.
- Es atacado por microorganismos.

7- Cola acuosa en frío

Derivadas de la caseína (proteína de la leche) y de la dextrina (almidón). Se debe preparar y usar en el momento, porque se estropea pasado un tiempo. Se utiliza en todo tipo de restauraciones.

Las características de este material son que el pH es casi neutro y que penetra de la misma manera que el almidón. Sin embargo, puede ser atacada por microorganismos, bacterias y hongos si se expone a malas condiciones de conservación.

VI.2.2.2 Productos sintéticos

Los adhesivos sintéticos ofrecen buenas propiedades adhesivas, son químicamente estables y no son atacados por microorganismos, hongos, bacterias e insectos. Los productos sintéticos o sintetizados por el hombre y usados en restauración se dividen en dos grandes grupos: los derivados de celulosa –semisintéticos- y los sintéticos.

1- Colas celulósicas

Este tipo de colas se obtienen mediante la modificación química de la celulosa.

Existen variedades de colas celulósicas:

- Los esteres celulósicos (acetato y nitrato de celulosa)
- Los éteres de celulosa (metilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio...).

Son solubles en agua y en solventes orgánicos dependiendo de su grado de sustitución (DS)^[329].

Hoy en día, son las más utilizadas porque son fáciles de preparar, aplicar y son estables. Se venden en forma deshidratada y en polvo, y se disuelven tanto en agua como en solventes^[330].

³²⁹ Grado de sustitución (DS) es el número medio de grupos alquiles añadidos a cada unidad de glucosa.

○ **Acetato y nitrato de celulosa**

El uso del acetato de celulosa debe ser estudiado y limitado. Se emplea sobre todo en laminaciones. Este sustrato con el tiempo es perjudicial para la obra porque al oxidarse se vuelve frágil, se rompe fácilmente, disminuye la resistencia mecánica y el pH varía.

El nitrato de celulosa es completamente desaconsejado por su envejecimiento, menos estable que el acetato. Este adhesivo amarillea y deforma el soporte.

○ **Metilcelulosa**

La metilcelulosa es un derivado de la celulosa. Se obtiene cuando se trata la celulosa alcalina con cloruro de metilo.

Se utiliza mucho en restauración y conservación de papel por su fácil preparación y empleo, para consolidar, pegar y fijar. Producen films transparentes sólidos y delgados, son excelentes lubricantes y tiene buenas propiedades adhesivas. A veces se mezcla con PVA, colas vegetales o con carboximetilcelulosa de sodio ^[331] para mejorar sus propiedades.

Se vende con los nombres comerciales como Culminal, Tylose MH, Glutofix ^[332].

Posee las siguientes características ^[333]:

- Buena resistencia mecánica.
- El pH y la resistencia mecánica no disminuyen en exceso a través del tiempo.
- Reversible con agua y no amarillea mucho al envejecer.
- Insoluble en agua caliente pero soluble en etanol y acetona.
- Buena resistencia al ataque de microorganismos.

³³⁰ RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica, Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 114.

³³¹ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 197.

³³² RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica, Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 114.

³³³ BAKER, C.A., « Methylcellulose et Carboxymethylcellulose sodique: étude par vieillissement accéléré des propriétés pour la conservation du papier », *Adhésifs et consolidants. Congrès internationale de l'IIC X^{ème}*, Ed. Champs-sur-marne, IIC, Paris, 1984, p. 53.

- Contiene más del 95% de agua.
- Viscosidad elevada en bajas concentraciones.
- Tiene poder humectante.
- Es útil en detergentes.
- No es tóxico.

○ **Carboximetilcelulosa de sodio (SCMC o cellofas, Tylose CB)^[334]**

Se obtiene atacando la celulosa alcalina con cloroacetato de sodio. Se usa para consolidar, para limpiar y como adhesivo en restauraciones manuales. Este material es un adhesivo débil por lo que se suele mezclar con otros adhesivos como la metilcelulosa. Pero, esta mezcla desgraciadamente amarillea.

Tiene buenas propiedades, muchas de ellas son iguales a la metilcelulosa, descritas con anterioridad:

- Es soluble en agua caliente, en agua fría, en etanol y en acetona.
- Es sensible a los ataques de microorganismos.
- Su resistencia y pH son más o menos estables, a través del tiempo.
- Amarillea sólo con un envejecimiento acelerado húmedo.

○ **Hidroxiopropil celulosa**

Este adhesivo se consigue con óxido de propileno en celulosa alcalina. Se usa como consolidante en metanol y también como fijativo con metanol y cloruro de metilo o con etanol ^[335].

Tiene como características:

- Es soluble en agua hasta los 40°C e insoluble en agua caliente.
- Es soluble en etanol, metanol, isopropanol y mezclas de disolventes.
- Le atacan los microorganismos

³³⁴ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p. 80.

³³⁵ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 199.

- Tiene buena resistencia mecánica, pH, blancura y reversibilidad con el tiempo.

2- Colas vinílicas

Son adhesivos sintéticos empelados desde mediados del siglo XX. Se describen a continuación los adhesivos empleados como consolidantes en restauración de papel.

○ Acetato de polivinilo o cola blanca (PVA)

Es una emulsión polimérica sintética, conseguida con la reacción del ácido acético y acetileno en presencia de un catalizador, el óxido de mercurio. Es una emulsión blanca, viscosa y se diluye en agua. Se usa como adhesivo, fijativo y consolidante. Tiene diferentes nombres comerciales Movilith, A34K3, Vinavil, etc.

Este producto tiene las siguientes características:

- Tiene un pH neutro pero con el tiempo varía y se convierte en ácido.
- Al envejecer amarillea rápidamente.
- La resistencia mecánica es óptima.
- Resiste a los microorganismos.
- Es reversible en tolueno, acetona y alcohol. Su adhesión se desaconseja en zonas delicadas.

○ Alcohol de polivinilo (PVOH)

El alcohol de polivinilo se obtiene al hidrolizar el acetato de polivinilo. Se utiliza como consolidante y adhesivo. Pero su uso es desaconsejado ^[336]. Se vende bajo diferentes nombres como Mowiol, Vinavinol, gel Vatol, Rhodoviol ^[337 y 338].

³³⁶ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 201.

³³⁷ RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica, Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 114.

Tiene las siguientes características:

- Se solubiliza en algunos disolventes orgánicos.
- Se degrada a alta temperatura y humedad.
- Su resistencia mecánica al pliegue es buena.
- Resiste al ataque de los microorganismos
- Posee buena estabilidad del color
- El pH se acidifica en el envejecimiento.

3- Resinas

Existen múltiples tipos de resinas. A continuación, se describen las resinas más empleadas para la consolidación de papel. Estas resinas suelen ser polímeros y resinas termoplásticas que se funden y endurecen con calor

○ Metacrilato de etilo -Paraloid B-72-

Es una resina acrílica que se suele emplear como fijativo o como consolidante. Es uno de los consolidantes que se usan en laminaciones para unir el papel japonés al soporte celulósico a una temperatura y presión determinadas. Se disuelve en diferentes disolventes acetona, tolueno, acetato de etilo, xileno, tricloroetileno... Sus propiedades son ^[339]:

- La resistencia mecánica a los pliegues que otorga al papel no es buena.
- El pH se vuelve ácido y amarillea con el envejecimiento artificial.
- La reversibilidad es buena después del envejecimiento artificial.

³³⁸ CRESPO, C., VIÑAS, V., *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Paris, 1984, p. 80.

³³⁹ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Papier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 202.

○ **Metacrilato de metilo – Primal -**

Esta resina conocida con el nombre de Primal AC, se vende en forma de dispersión blanca opaca que al secarse proporciona un efecto brillante al papel. Se utiliza como fijativo y consolidante de laminados. En las laminaciones, el papel japonés se impregna de primal y se adhiere con una baja presión y temperatura.

Se emplea pura o diluida y se solubiliza en alcohol, tolueno y acetona. Se usa en laminados no acuosos. Este adhesivo es reversible en tolueno, derivados del petróleo y acetona ^[340].

○ **Poliamidas.**

El nylon es un polímero irregular. Se puede encontrar en el mercado con el nombre de Maranyl, Calaton ^[341]. El n-metoximetil nylon 6/6 se emplea como fijativo y también como consolidante.

Sus características son las siguientes ^[342]:

- No amarillea al envejecer.
- Se degrada con la acción o oxidación fotolítica (rayos UVA, etc.)
- Al secar forma un film que se retracta
- En un medio ácido se vuelve insoluble
- El nylon es reversible en alcohol templado, aunque al envejecer es irreversible.
- El pH varía al envejecer.
- La resistencia mecánica y la resistencia a los microorganismos aumenta considerablemente.

Son adhesivos muy potentes, resistentes a las modificaciones químicas.

³⁴⁰ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 202.

³⁴¹ RODRÍGUEZ LASO, M., *Conservación y Restauración de la Obra Gráfica, Libros y Documentos*, Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2004, p. 114.

³⁴² LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, pp. 204-205.

VI.2.3 Desventajas de los adhesivos

El empleo de adhesivos en papel sirve para consolidar, dotar al papel de resistencia para su manejo y durabilidad. No obstante, existen diferentes desventajas que pueden surgir al aplicar una cola a un papel ^[343]: alteración y degradación de colores, variaciones de las dimensiones, deformaciones, perder información en el reverso como dibujos, escritos, etc. Por ejemplo, las colas de conejo, cola blanca y cola animal pueden provocar daños irreversibles como descoloraciones, sequedad y manchas ^[344]. Además, Con el tiempo las colas se vuelven quebradizas, provocan distorsiones del papel, ondulaciones y diferentes tensiones entre el papel y el adhesivo.

A continuación, se exponen varios de los problemas que surgen tras haber aplicado el adhesivo, durante su envejecimiento y en su eliminación.

○ Alteración o degradación de los colores

Los adhesivos en solución, emulsiones o suspensiones acuosas pueden alterar o dañar los colores, tintas solubles al agua, de las acuarelas o los dorados de las miniaturas.

El consolidante no debe alterar la naturaleza opaca y translúcida original del papel. Por ejemplo, entre el acetato de vinilo, la carboximetilcelulosa y la gelatina, ésta última es la que mayor alteración del color sufre. No obstante, los dos primeros también disminuyen su blancura con el tiempo ^[345, 346].

³⁴³ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo dei beni culturali catacei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990.

³⁴⁴ HOLDEN ELLIS, M., *The care of Prints and Drawings*, Ed. Altamira, Walnut Creek (UK), 1995, p. 30.

³⁴⁵ GOMEZ URQUIZA, M., HUERTA CORIA, R., *Papel. Efecto de tres consolidantes sobre la celulosa*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1980.

³⁴⁶ HOLDEN ELLIS, M., *The care of Prints and Drawings*, Ed. Altamira, Walnut Creek (UK), 1995, p. 30.

○ **Variación del pH**

El envejecimiento del adhesivo no debe ser ácido. Esto provocaría el contagio de la acidez al papel y por consiguiente, la catalización de la degradación, amarillamiento y reducción de la resistencia mecánica de las fibras e incluso la proliferación de microorganismos. El cambio de color hacia el amarillo o marrón, nos indicará que el papel está ácido y que está en marcha el proceso de degradación de las fibras. La carboximetil celulosa es una de las colas que tiene un pH óptimo al envejecer.

○ **Variación de las dimensiones de papel**

Tras el tratamiento de consolidación, los papeles fabricados industrialmente pueden variar sus dimensiones de manera diversa, dependiendo de la dirección de su corte. Si un libro o bifolio contienen hojas con diferente dirección de corte, éstas encogerán de diferente manera y posteriormente será muy difícil juntar o recomponer los fascículos.

En mapas y dibujos arquitectónicos, este tipo de tratamiento puede hacer variar las dimensiones del papel ^[347].

○ **Variación del espesor**

El consolidante aumenta el espesor de la hoja. Por este motivo hay que tener cuidado cuando se consolida las hojas de un libro porque al sumar todas las hojas puede volverse visible ^[348].

³⁴⁷ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo dei beni culturali catacei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990.

³⁴⁸ GOMEZ URQUIZA, M., HUERTA CORIA, R., *Papel. Efecto de tres consolidantes sobre la celulosa*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1980.

○ **Porosidad y capacidad higroscópica**

La porosidad o la capacidad de paso de aire, se ve reducida con la aplicación de adhesivos como el acetato de vinilo que forma una película plástica.

La capacidad higroscópica también se ve alterada con la aplicación del consolidante al formar una capa. Cuando envejecen las fibras de papel, disminuyen su capacidad para recuperar la humedad perdida. Este fenómeno se llama agotamiento de la fibra. Por ejemplo la aplicación de acetato de celulosa o gelatina hace disminuir la permeabilidad del papel. Y el acetato en presencia de humedad desprende ácido ^[349]. El consolidante no debe modificar o lo menos posible la textura original de la obra.

○ **Eliminación de laminaciones**

La eliminación de los soportes de refuerzo ya sean parciales o enteros se realiza para eliminar alguna causa de degradación pero a la vez, puede provocar daños en la obra. Este tipo de tratamiento es delicado porque durante la sustracción del refuerzo, el papel se debilita, puede ondularse y crear deformaciones –sobre todo en grandes formatos-. Las tintas de grabados pueden volverse solubles ^[350] o las tintas en general pueden verse afectadas por el uso de los disolventes tóxicos ^[351]. Además esta operación puede resecar el papel, modificar su flexibilidad y estructura ^[352], y dejar residuos de los productos nocivos.

Diferentes productos que sirven para laminar han sido contraproducentes. Por ejemplo, el diacetato de celulosa fue considerado estable entre los años 50-75, no obstante, muchos de los papeles tratados con este material presentan ataques

³⁴⁹ HOLDEN ELLIS, M., *The care of Prints and Drawings*, Ed. Altamira, Walnut Creek (UK), 1995, p. 30.

³⁵⁰ RICHARDIN, P., LEROY, M., LECLERC, F., BONNASSIES, S., « Etude de la Stabilité d'un produit de doublage de documents : l'Area Bonded Fibre », *Nouvelles de l'ARSAG*, nº4, ARSAG, Paris, 1988, pp. 7-8.

³⁵¹ HOLDEN ELLIS, M., *The care of Prints and Drawings*, Ed. Altamira, Walnut Creek (UK), 1995, p. 30.

³⁵² JAMES, C., CORRIGAN, C., ENSHAIAN, M.C., GRECA, MR., *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni e stampe antichi*, Ed. Leo S. Olschki, Firenze, 1991, p. 157.

microbióticos, humedades y pérdida de soporte ^[353]. Además, se ha demostrado que al envejecer es muy inestable y exuda ácido acético y plastificantes. Esto provoca que el papel se delamine por dentro ^[354] y que todos los documentos deban ser restaurados y neutralizados con carbonato de calcio para neutralizar el ácido. La eliminación de esta lámina provoca el 9% de las roturas y fisuras ^[355].

Otro material que se consideró estable y ha dado malos resultados, es el polietileno. Se ha comprobado que la superficie del polietileno, no es continua, existen muchos agujeros de diferentes tamaños. Esto es un problema porque este film deja pasar vapores de agua dentro de la laminación, y éste es absorbido por las fibras, provocando un grado de humedad alto, y la posible proliferación de microorganismos que deterioran biológicamente el papel ^[356].

Además, la temperatura y radiaciones solares, provocan un envejecimiento del papel, disminuyendo sus zonas cristalinas y por consiguiente su resistencia.

El poliéster, es un material que no reduce las propiedades mecánicas del papel pero sí la acidez. Esto provoca el aumento del envejecimiento artificial, lo que hay que tener muy en cuenta, en papeles ácidos ^[357].

○ Conclusiones de varios autores

La consolidación más habitual se realiza con carboximetilcelulosa sódica, y metilcelulosa. Las gomas no son un buen consolidante porque aumentan su peso, amarillean, etc.

³⁵³ HEDDLETHWAITE, S., “Effetti della laminazione. Il quaderno di disegni di Jacapo Palma il Gionave”, *OPD Restauro*, Ed. Centro Di Firenze, 1989, pp. 49-58.

³⁵⁴ GRUNDY, C.M., KENNEDY, T.D., “Laminated material from the National Anthropological Archives”, *Conservation science 2002*, Ed. Archetype Publications, Scotland, 2002, pp. 115-120.

³⁵⁵ AUBIER, D., et al., “Degradation caused by cellulose diacetate: analysis and proposals for conservation treatment”, *Restaurator 17*, Denmark, 1996, pp. 130-143.

³⁵⁶ NYUKSHA, P., SERGLEVA, L.E., *Paper lamination: biological aspects*, Ed. ICOM 8th trienal meeting vol.II, Sidney, 1987, p. 697.

³⁵⁷ HAVERMANS, J., “Ageing Behaviour of Encapsulated Paper”, *Restaurator*, Germany, 1999, pp. 108-115.

Las mezclas de adhesivos son la mejor solución para consolidar un papel porque combinan sus propiedades, aumentando la resistencia mecánica y no alterando mucho el color del papel.

Las mezclas que se realizan son la de Metocel CMC y gelatina porque no amarillean, el pH permanece estable a través del tiempo y no aumentan el peso del papel ^[358]. También se suelen mezclar la carboximetilcelulosa de sodio con la metilcelulosa, para combinar las buenas propiedades de envejecimiento de cada compuesto ^[359].

Los adhesivos recomendados por varios autores son la metilcelulosa, almidones y Paraloid B-75, porque la gelatina y acetato de polivinilo degrada más el papel, las harinas y alcohol polivinílico amarillean, etc. ^[360]. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, la combinación de todos estos materiales, hace mejorar sus características.

Las técnicas de laminación con disolventes quedan desechadas porque el restaurador tiene que tener un control extremo de esta técnica de consolidación. Demasiado disolvente puede hacer que la cola penetre mucho entre las fibras y poco disolvente hará que el papel japonés no se adhiera demasiado al documento ^[361].

El grado de penetración del consolidante depende del adhesivo, del disolvente, de la técnica de aplicación y del papel. La gelatina penetra más fácilmente que la metilcelulosa porque tiene menor viscosidad. La gelatina funciona mejor con agua y la metilcelulosa con etanol ^[362].

³⁵⁸ DEL CASTILLO NEGRETE, M., *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*, Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México, 1995, pp. 4-29.

³⁵⁹ BAKER, C.A., « Methylcellulose et Carboxymethylcellulose sodique: étude par vieillissement accéléré des propriétés pour la conservation du papier », *Adhésifs et consolidants. Congrès internationale de l'IIC X^{ème}*, Ed. Champs-sur-marne, IIC, Paris, 1984, p. 53.

³⁶⁰ LIENARDY, A., VAN DAMME, P., *Manuel de Conservation et de restauration du Napier*, Ed. Institut royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1989, p. 199.

³⁶¹ ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali caracei*, Ed. Del Bianco, Udine, 1990, p. 47.

³⁶² REAM DENNIN, J., "Observations on the Penetration of two Consolidants Applied to Insecure Gouache on Paper", *The Book and Paper Group Annual, n°14*, Ed. AIC, USA, 1995, pp. 27-31.

No existe un consolidante ideal. Ya sea un polímero o una mezcla de varios adhesivos, los resultados pueden ser diferentes. Por este motivo hay que escoger el que mejor se adapte a cada tratamiento ^[363].

³⁶³ GUTIERREZ, S., FLORES, L.H., “Comparative study of four consolidants used for cellulosic supports”, *Materials Research Society Symposium Proceeding, Vol. 352*, Ed. MRS, Pittsburgh, Pennsylvania, 1995, pp. 807-812.