# UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE BELLAS ARTES



# ESTABILIDAD DE LOS PAPELES PARA ESTAMPAS Y DIBUJOS

El papel como soporte de dibujos y grabados:

Conservación.

TESIS DOCTORAL
por
RUTH VIÑAS LUCAS
Director
Dr. ALVARO PARICIO LATASA



Madrid 1994

Vita brevis est, Ars perdurat

Cicerón



Vita brevis est, Ars perdurat

Cicerón

A mi madre

1	IN	n	10	ľ
	IIV	v	ı	С

.

•	
$A_{\mathcal{G}}$	
RESUMEN	13
KESOWEN	
AGRADECIMIENTOS	17
- A	
EXORDIO .	23
1. Objetivos: Justificación del tema	27
2 Fuentes y base del trabajo	33
3 Criterios y métodos	,, <b>3</b> /
3.1 Criterios	., 37
3.2. Método	39
3.2.1. Ensayos realizados para determinar la permanencia de los papeles del	40
muestrario y estudiar la eficacia de la desacidificación	., 40
A. Ensayos previos al envejecimiento artificial	., <del>4</del> 1
B. Envejecimiento artificial	44
C. Ensayos tras el envejecimiento artificial	43 AA
3.3. Instrumental y Laboratorios	45
3.4. Registro de datos 4. Estructura de la Tesis	47
4.1. El Texto	. 47
4.2. El Corpus Documental	53
4.2. El Corpus Documental	
GPC	
PARTE PRIMERA. EL PAPEL COMO SOPORTE ARTISTICO:	
NATURALEZA Y ESTRUCTURA.	
	#0
CAPITULO I: EL PAPEL COMO SOPORTE DE ESTAMPAS Y DIBUJOS	59
	<b>~1</b>
1. Antecedentes	61
2. La fabricación del papel	. /1
2.1. El papel "a mano"	/ 1
2.2. El papel continuo	102
2.3. Diferencias entre el papel "a mano" y el papel continuo	113
3. Materias primas que componen el papel	115
3.1. Las fibras	126
3.1:1. La pasta de fibras no lignificadas	144
3.1.2. La pasta de fibras lignificadas	147
3.1.2.2. La pasta de madera química	154
3.1.2.2. La pasta de madera química	164
3.1.2.4. La pasta de paja	165
3.1.2.5. La pasta de papel recuperado	167
3.1.2.6. Tratamiento especial delas pastas para papeles transparentes	171
3.1.2.7. El papel sintético	175
3.2. Los aditivos	183
3.2.1. Los encolantes	183
3.2.7 Los blanqueadores	186

,	
3.2.3. Los colorantes	
3.2.4. Cargas de relleno	190
3.2.5. Antisépticos y fungicidas	
4. Características de los papeles de dibujo y estampación	
· 4.1. Soportes de papel para estampación	
4.2. Soportes de papel para técnicas húmedas	
4.3. Soportes de papel para óleos	216
4.4. Soportes de papel para técnicas en seco	
$L_{Z}^{\infty}$ ,	
CAPITULO II. PATOLOGIA DE LOS PAPELES ARTISTICOS	223
1. Las causas internas de alteración y sus efectos	229
1.1. Las fibras	
1.2. Los encolantes	
1.3. Los blanqueadores	
1.4. Los aditivos	
1.5. El agua	
1.6. Conclusión: hacia un papel teóricamente óptimo	
2. Las causas externas de alteración y sus efectos	242
2.1. Causas físico-mecánicas	243
2.2. Temperatura y Humedad	
2.3. La luz	
2.4. Vibraciones	
2.5. Contaminación ambiental	267
2.6 Causas biológicas	273
2.7. Causas catastróficas	285
$-\mathcal{C}$ .	
PARTE SEGUNDA: LA PERMANENCIA DEL PAPEL	
$\Delta \approx$	
CAPITULO III. A LA BUSQUEDA DE UN PAPEL PERMANENTE:	
EL PAPEL PERMANENTE Y SU NORMALIZACION	291
The state of the s	
1. La estabilidad del papel: permanencia y durabilidad	293
1.1. Problemática actual	293
1.2. Hacia una definición de papel permanente	299
1.2.1. Antecedentes	200
1.2.2. Concepto de papel permanente	304
2. Propuestas para un papel estable con vistas a su conservación:	504
la normalización relativa a la permanencia el papel	211
2.1. La normalización en Asia	212
2.1.1. India	212
2.1.2. Pakistán	313
2.2.1.1.a normative astadounidana	514
2.2.1 La normativa estadounidense	
2.2.1.1. The American Society for Testing and Material (ASTM)	315

<ul> <li>2.2.1.2. The American National Standards Institutes (ANSI) y</li> </ul>	
The National Information Standards Organization (NISO)	322
- ANSI/NISO Z 39-1992. Permanece of Paper for Publications	
and Documents in Libraries and Archives	325
A) Ambito	327
B) Definiciones	32 <b>7</b>
C) Requisitos de permanencia	
2,2,1,3. La normativa gubernamental	
2.2.2. La normativa en Canadá	334
2.3. La normativa en Europa: individualismos y prgresos en común	
2.3.1. El Comité Europeo de Normalización (CEN)	
2.3.2. Alemania	
- DIN 6738 Papier und Karton; Lebend	
A) Ambito	
B) Principios	
C) Exigencias	
D) Métodos de evaluación	340
E) Características del papel	
F) Certificación	341
G) Crítica	
2.3.3. Austria	
2.3.4. Francia	
2.3.5. Italia	
- El Decreto Ministerial del 2/8/1987	
A) Exigencias	346
2.3.6. Países Bajos	350
A) Requisitos	353
2.3.7. Países Escandinavos	354
2.3.7.1. Dinamarca	354
2.3.7.2. Finlandia	355
2.3.7.3. Suecia	357
2.3.8. Reino Unido	360
2.3.9. España	361
2.4. Normativa Internacional: A la búsqueda de un acuerdo global	,,,
- The International Organization for Standardization (ISO)	363
2.4.1. El proyecto de norma I.S.O.: ISO/DIS 9706	
2.4.2. La norma I.S.O. 9706. "Información y documentación	,,,,,
- Papel para documentos - Requisitos de Permanencia	369
' A) Ambito	369
B) Principios	370
C) Definiciones	371
Anexo C	372
Envejecimiento acelerado	372
Propiedades ópticas	372 3 <b>7</b> 3
Situación actual y reflexiones	381
SITIACION ACIDAL V TELIEXIONES	11,11

5 (4)			COLUMN CILITIES IN OUR C	201
DADTE	TERCERA. COMPORTAMIENTO DE LO	OS PAPELES	COMERCIALIZADOS O	_UN
1775-17	S ARTISTICOS: PROPUESTA DE ESTAI	እነ፣ ነፖልሮነበΝ		
11111	S ARTISTICOS. FROM OLISTA DE ESTAM	JACILLA XCICIA		

IV ESTUDIO ANALITICO: MEDIOS Y METODOLOGIA	385
1. Justificación de criterios	389
2. Hipótesis de partida	401
3. El muestreo	405
3.1. Determinación de la muestra	405
3.2. Caracteristicas de los papeles de la muestra	411
4. Análisis y resultados	413
A) Ensayos químicos (pruebas sin envejecer)	413
B) Envejecimiento acelerado	414
C) Ensayos físicos (muestras envejecidas y sin envejecer)	414
4.1. Fase preliminar: Ensayos preparatorios	415
4.1. Fase preliminar: Ensayos preparatorios	415
4.1.1. Acondicionamiento de las muestras (ISO 167)	416
4.1.2. Determinación del gramaje (ISO 563)	420
4.1.3. Determinación del contenido de númedad (150 267)	421
4.2. Análisis químicos	421
4.2.1. Determinación de la acidez	425
4.2.1.1. Extracción acuesa en frío (ISO 6588)	428
4.2.1.2. medición por contacto (ANSI/NISO Z39.48-1992)	nanel
4.2.2. Determinación de la reserva alcalina: Contenido de carbonato cálcico en el	μαροι Λ3Λ
(ASTM D 4988-89)	436
4.2.3. Resistencia a la oxidación: Determinación del número Kappa (ISO 436)	443
4.3. Análisis físicos	 442
4.3.1. Resistencia al desgarro	443 451
4.3.2. Determinación de la blancura. UNE 57-062	431 484
4.4. Envejecimiento acelerado con calor húmedo (ISO 5630/3: 1985)	430 461
4.4.1. Retención de la resistencia desgarro	401
4.4.2. Adaptación de DIN-6738: "El factor de duración de vida"	409
5. Análisis de Resultados y Conclusiones	479
5.1. Permanencia y relación entre los criterios	481
5.1.1. Visión general de adecuación a los criterios	481
5.1.2. Permanencia según ISO y ANSI/NISO	484
5.1.3. Relación entre las diferentes formas de medir la permanencia	489
5 J 3 1 Relación entre las normas ISO y ANSI/NISO	489
5.1,3.2. Relación entre las normas ISO y ANSI/NISO y pérdida de	
propiedades tras el envejecimiento	493
5.2. Adecuación de las hipótesis y conclusiones	501
5.3. Permanencia de papeles especiales	508
5.3.1. Muestra de referencia (nº 0)	508
5.3.2. Papeles artesanales	510
r 5.3.3. Papeles reciclados/ecológicos	513
5.3.4. Soportes sintéticos	516
5.3.5. Papeles traslúcidos para dibujo técnico	519

V DESACIDIFICACION Y EVALUACION DE RESULTADOS	523
1. Justificación del tratamiento de desacidificación	
2. Hipótesis de partida	531
3. La Desacidificación como tratamiento	535
3.1. Descripción del método	
3.2. Modificación de las características químicas	540
3.2.1. Influencia de la desacidificación en el pH	
3,2.2. Influencia de la desacidificación en la reserva alcalina	545
3,2.3. Adecuación del método empleado para la desacidificación	547
4. Modificación de la permanencia de los papeles desacidificados	549
4.1. Permanencia de los papeles desacidificados según normas ISO y ANSI/NISO	549
4.2. Permanencia de los papeles desacidificados tras el envejecimiento acelerado	554
4.2.1. La resistencia al desgarro	557
4,2,1,1. Variación de la resistencia al desgarro tras el envejecimiento	., 559
4.2.1.2. Influencia de la desacidificación en relacion al desgarro	
4.2.1.3. Comparación f <sub>L</sub> D y f <sub>L</sub> D 2	
4.2.2. El grado de blancura	
4.2.2.1. Variación en el grado de blancura	
4.2.2.2. Influencia de la desacidificación en el amarilleamiento	. 579
5. Adecuación de las hipótesis. Conclusiones	. 587
CONCLUSIONES	391
1. Conclusiones sobre los criterios y método experimental adecuado para evaluar la	
1. Conclusiones sobre los criterios y método experimental adecuado para evaluar la permanencia de los papeles de uso artístico	. 599
permanencia de los papeles de uso artístico	. 599 . 603
permanencia de los papeles de uso artístico	. 599 . 603
permanencia de los papeles de uso artístico	. 603
permanencia de los papeles de uso artístico	. 603
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA	. 603 . 607 . 611 615
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores	. 603 . 607 . 611 615 617
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel.  BIBLIOGRAFIA  Autores.  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante.	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas	. 603 . 607 . 611 615 617 . 643 . 647
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas  APENDICES	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel.  BIBLIOGRAFIA  Autores.  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas.  APENDICES  1. Organismos de normalización  2. Diagramas de dispersión.	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647 657 . 659 . 665
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel.  BIBLIOGRAFIA  Autores.  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas  APENDICES  1. Organismos de normalización  2. Diagramas de dispersión.  INDICE DE ILUSTRACIONES	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647 657 . 659 . 665
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel.  BIBLIOGRAFIA  Autores.  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas.  APENDICES  1. Organismos de normalización  2. Diagramas de dispersión  INDICE DE ILUSTRACIONES  Láminas.	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647 657 . 659 . 665
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas  APENDICES  1. Organismos de normalización  2. Diagramas de dispersión  INDICE DE ILUSTRACIONES  Láminas  Figuras.	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647 657 . 659 . 665 679
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel.  BIBLIOGRAFIA  Autores.  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas  APENDICES  1. Organismos de normalización  2. Diagramas de dispersión  INDICE DE ILUSTRACIONES  Láminas  Figuras  Cuadros	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647 657 . 659 . 665 679 . 681 . 681
permanencia de los papeles de uso artístico  2. Conclusiones sobre la permanencia de los papeles analizados  3. Conclusiones sobre el método propuesto para prolongar la permanencia de los papeles de uso artístico  RECOMENDACIONES generales para la salvaguarda de las obras de arte sobre papel  BIBLIOGRAFIA  Autores  Catálogo/ Muestrario/ Información del fabricante  Normas  APENDICES  1. Organismos de normalización  2. Diagramas de dispersión  INDICE DE ILUSTRACIONES  Láminas  Figuras.	. 603 . 607 . 611 615 . 617 . 643 . 647 657 . 659 . 665 679 . 681 . 681

### RESUMEN

El objetivo principal de esta Tesis ha sido determinar la permanencia de un grupo de papeles destinados a ser soporte de obras de arte. Antes de realizar el análisis de cada uno de los 55 tipos de papel que componían la muestra ha sido necesario establecer el método experimental y los atributos que debería poseer un papel de uso artístico para ser calificado como permanente.

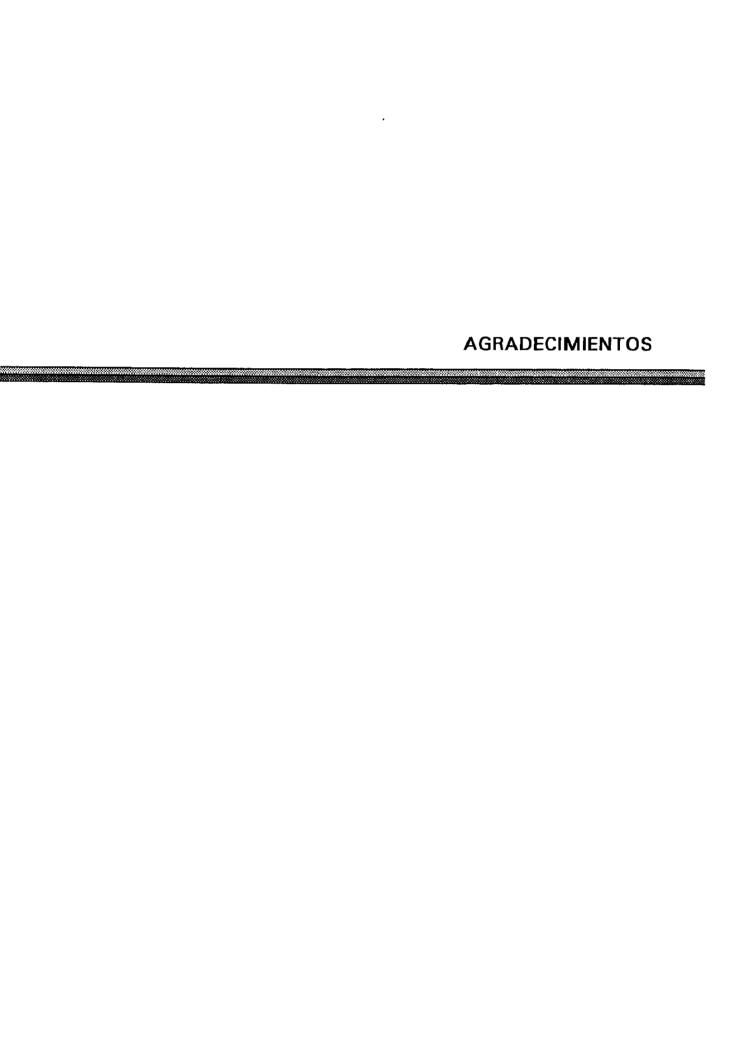
Para poder alcanzar este segundo objetivo se ha realizado un exhaustivo estudio de la normativa referente a la permanencia del papel. La inexistencia de una norma satisfactoria para la determinación de la permanencia en papeles de uso artístico ha derivado en la aplicación conjunta de una serie de normas, cuyos ensayos experimentales han sido complementados con otros encaminados a efectuar una comparación que revelara el método más adecuado para la determinación de la permanencia de los papeles artísticos<sup>1</sup>.

La evaluación de la permanencia ha puesto de manifiesto la inadecuación de la gran mayoría de los soportes que componen la muestra; esto nos ha llevado a proponer un método para prolongar la vida de los papeles de uso artístico. En esta línea se ha demostrado cómo la desacidificación con hidróxido cálcico, que puede ser aplicada por el propio artista antes de la realización de su obra, mejora de manera considerablemente satisfactoria las cualidades para la conservación en los papeles analizados.

Así, la Tesis que ahora se expone tiene tres vertientes claramente diferenciadas:

- 1- La búsqueda de un método para la evaluación de la permanencia de los papeles artísticos, tras el estudio comparativo de la normativa existente.
- 2- El análisis de un grupo de 55 papeles para determinar su permanencia.
- 3- La propuesta de un método para prolongar la permanencia de las futuras obras de arte sobre papel, junto con la comprobación de su eficacia.

<sup>1</sup> Comparación de diferente normativa con la evaluación del mantenimiento de la resistencia mecánica y del grado de blancura tras ensayos de envejecimiento acelerado en húmedo.



Quien tiene en sus manos una Tesis Doctoral sabe que ésta supone la culminación de un trabajo de investigación, fruto del esfuerzo personal, pero igualmente es indiscutible que "entre bastidores" siempre se encuentra el apoyo recibido de muchas personas e instituciones, sin las que no hubiera sido posible el desarrollo y buen término del trabajo.

El primer lugar mi agradecimiento va dirigido al apoyo moral recibido de mis amigos y familiares, que han aguantado mis peores momentos y me han impulsado a seguir en esos periodos de desánimo y agotamiento de los que, según me ha parecido constatar, se libran pocos doctorandos.

Mi gratitud al Catedrático <u>D. Alvaro Paricio Latasa</u>, el director de este trabajo, por la confianza que depositó en mí desde un inicio, al dejarme trabajar con plena libertad pero siempre bajo su apoyo, guía y comprensión.

Esta investigación ha sido patrocinada por la Fundación Mapfre; gracias a ella por la fé depositada en el Proyecto que les presenté en su día, en especial a <u>D. Victor M. Martín</u>, Director de la Fundación Cultural; su beca significó mucho más que una dotación económica, primero fue una inyección de ánimo, y después la vía gracias a la cual se pudo conseguir una cámara de climatización, la "pesadilla" que estaba frenando el desarrollo de esta Tesis. Así, gracias también a Itsemap, a <u>D. Francisco Nuñez</u>, Director General, por

facilitarme desinteresadamente el acceso a su empresa, a D. Julián Labrador -Director de Laboratorios y Director Técnico de Itsemap-Fuego- por la gentileza con que atendió mis requerimientos y las facilidades prestadas, y a D. César Quevedo, Técnico del laboratorio de Itsemap-Fuego, por su asesoramiento y control durante los ensayos de envejecimiento acelerado.

Todos los ensayos físico-mecánicos realizados para esta investigación se han llevado a cabo en el Departamento de Industrias Forestales, Sección Celulosas, del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, gracias a la concesión de un Permiso por Ampliación de Estudios. Una gran persona y excelente profesional, al que debo mi reconocimiento y gratitud, por su apoyo y continuo asesoramiento, es <u>D. Jose Luis Tagle</u>, Investigador y Jefe de la Sección de Celulosas, que me instruyó en el funcionamiento de los instrumentos para los ensayos mecánicos y me enseñó muchas cosas, de las tantas que me quedan por aprender sobre el papel, este material tan querido por ambos; gracias por su tiempo, que tan generosamente compartió en este trabajo. También mi agradecimiento a <u>Da. Ma Angeles Navarrete</u>, Ingeniera de Montes y Jefe de Servicio del I.N.I.A., y a <u>Da. Pilar Poveda</u>, Investigadora del I.N.I.A., siempre dispuesta a resolver las dudas que se me presentaron sobre las pastas de papel. También mi agradecimiento al personal del Laboratorio de Celulosas, Carlos, Remedios y María.

Los análisis químicos que se precisaron para el desarrollo de este trabajo fueron llevados a cabo en la Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid; mi agradecimiento a <u>D. Javier Peinado</u>,

Director de esta Escuela y Catedrático del Departamento Técnico Científico por su apoyo y asesoramiento, y muy en especial a Da. Paloma Alonso, profesora de Química y Jefa del Departamento Técnico Científico, por su compañerismo y ayuda en todo momento. Tanto a D. Javier Peinado como a Da. Paloma Alonso les debo los conocimientos gracias a los cuales pudieron realizarse los análisis químicos. Junto a ambos, y a través del C.E.P. Madrid-Centro, se realizó un trabajo sobre la permanencia de los papeles reciclados, que sirvió para poner a punto parte de la metodología experimental de esta Tesis. Gracias también a los compañeros de la Escuela, por su apoyo (gracias Emilio por sacarme de los atolladeros de la informática).

El Laboratorio de Física y Química de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid también prestó su ayuda al facilitarnos los electrodos para la determinación de la acidez; gracias a Da. Margarita San Andrés por la colaboración y ayuda ofrecidas. De la Facultad de Bellas Artes también quiero agradecer a Da. Teresa Escobotado por el interés y apoyo recibidos.

A mis amigos Concha Muñoz, Javier Villanueva, Susana y Esther Pascual y Ludwig Koch también les debo mi agradecimiento; Concha y Javier me introdujeron y asesoraron en el tratamiento informático con el que se han elaborado los cálculos y todas las tablas y gráficos que ilustran la Tesis; Susana y Esther me refrescaron los conocimientos de estadística, un poco perdidos en mi memoria desde que acabé mis estudios de Psicología, hace ya muchos años, y con Susana aprendí el manejo del programa de estadística con el que pude

realizar los análisis de varianza y los estudios de regresión; Concha y Ludwig también me han ayudado con la traducción de parte de la bibliografía. Luis, Alvaro ..., hasta me han hecho la compra cuando no había qué comer en mi casa.

A mis padres también les debo mi agradecimiento: <u>D. Vicente Viñas</u> me ha facilitado el acceso a parte de la bibliografía y me ha ayudado a encauzar la tesis con sus sugerencias y crítica constructiva, <u>Da Rosario Lucas</u>, además de su apoyo constante, ha sido la eterna "correctora de pruebas", a la cual debo todas las comas que estén en su sitio.

Y no quiero terminar estas palabras sin expresar el agradecimiento más profundo y sentido hacia mi esposo, Juan Carlos, el eterno e incansable "pinche" de este "guiso", que sin su ayuda no hubiera podido ser "cocinado". Según alguien me comentó, en Estados Unidos existen sentencias que han reconocido a la Tesis Doctoral como Bien Ganacial; a el, que es tan "leguleyo", le remito a ellas, para que si ésta llegase a buen fin, supiera que le corresponde, al menos moralmente, "la mitad de los beneficios".

# EXORDIO



La experiencia laboral, adquirida con el ejercicio profesional y docente en la restauración de Documentos Gráficos y Obras Artísticas sobre soporte de papel justifica, en principio, la elección del campo de esta Tesis. El tema está centrado en analizar el comportamiento, a largo plazo, de los diversos tipos de papel que el comercio ofrece a los artistas como base y soporte de sus creaciones.

El axioma "la huella de un hombre se juzga por su obra" es aplicable a muchas facetas humanas y, entre ellas, tiene especial relevancia la que atañe al mundo del arte. El don de la genialidad artística nace, se educa y se cultiva; de cara a un futuro son las obras de arte, juzgadas "por los demás", las que perpetúan y consagran el nombre del autor. Los valores técnicos y artísticos plasmados sobre el soporte sobrevivirán al artista siempre que el soporte resista y los materiales permanezcan estables.

No importa a estas páginas el modo en que la crítica, determinados valores plásticos, genialidad... e incluso la moda o el fervor por una tendencia pasajera, incidan en encumbrar o marginar a un artista. El paso del tiempo es inexorable y se impone a las circunstancias pasajeras; por ello importa destacar, desde el inicio de este trabajo, los derechos y las obligaciones contraídos con una obra de arte, potencialmente digna de interés cultural.

Cuando el arte, sea cual sea su soporte, alcanza méritos suficientes por autoría, valores estéticos o por ser testimonio histórico de una faceta humana

o de una época, forma parte del Patrimonio Histórico en la vertiente "Artística". Adquiere la categoría de preciado Bien Cultural, atesorado en Museos, Galerías y Centros de Documentación Gráfica. Estética y nombre del autor justifican el galardón alcanzado y el reconocimiento público de expertos y profanos.

Si el arte no es manifiestamente efímero, existe otra razón más allá del autor y de la estética para que una obra de arte sobreviva cierto tiempo. Nos referimos al aspecto que, en términos generales, se puede denominar comercial o crematístico: es el que proporciona los recursos económicos al artista<sup>1</sup>. El artista hace su trabajo para una clientela y el comprador o el usufructuario de la obra de arte espera que su adquisición tenga ciertas garantías de pervivencia, a no ser que conozca previamente la vida limitada de aquello que ha adquirido.

Pero no se deben desdeñar otros destinos concurrentes en las obras de arte si su soporte es el papel. Sin ánimo de agotar casuísticas, cabe matizar que determinadas técnicas (caso de grabados, susceptibles de reproducción múltiple sin detrimento del valor original) están concebidas, en muchas ocasiones, como complemento ilustrativo de un texto escrito o como motivo primordial de un libro en concreto. Desde que la obra conjunta ve la luz, por el mero hecho de testimoniar la edición, estas reproducciones forman ya parte del Patrimonio Bibliográfico-Documental, sometido a unas rigurosas normas de registro antes de la publicación y a la obligatoriedad de entregar un número determinado de ejemplares para seguir enriqueciendo nuestro patrimonio.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Para un análisis económico del arte, véase Grampp: "Arte, inversión y mecenazgo" (1991).

Con todo, la creación del artista, el original o la copia directa de la plancha, sigue manteniendo, como tal obra de arte, su propia entidad, potencialmente abocada a engrosar el Patrimonio Artístico. Incluso la estampa más humilde, "el romance de ciegos" o el cartel más pintoresco son representativos de su género, independientemente de la estética y del autor: testimonian los gustos de un sector, las costumbres o los condicionantes de un contexto social, temporal o geográfico particularizado. Su interés es acorde a su representatividad, y su valor monetario, como el de cualquier otro bien cultural, dependerá de su estado de conservación, máxime si se trata de una obra de arte.

Documentalmente es irrelevante dónde esté depositada una obra de arte; desde el punto de vista de patrimonio, y por bien del autor, importa que su testimonio permanezca<sup>2</sup>.

En suma, según sean los fines y el destino, existen múltiples argumentos -del propio autor, del comprador, de la sociedad,- y categorías y grados acerca de la permanencia que debe alcanzar una obra de arte. Pero unas y otras

Un ejemplo muy claro son los carteles generados durante la guerra civil española. Aunque no cumplen los 100 años de antigüedad, requeridos por la Ley para ser considerados de interés protegible, su testimonio histórico está fuera de dudas. Apenas rebasan medio siglo de vida y estos carteles, como tantas otras obras de arte sobre papel, documentos y libros coetáneos a la guerra y la postguerra adolecen de la mala calidad de la materia prima. El amarilleamiento y lo quebradizo del soporte son por sí mismos datos históricos para juzgar la crisis (Julián, 1993).

La Ley de Patrimonio Histórico Español de 25 de Junio de 1985, es suficientemente explícita sobre el concepto de Bien Cultural. La concepción tan amplia de Patrimonio Histórico ha subsanado los conflictos de encasillar los bienes culturales en contextos restringidos o de marginarlos si el criterio aplicado era el meramente artístico. Los investigadores disponen de mecanismos suficientes para localizar los bienes registrados como tales, estén depositados en entidades oficiales o en poder de particulares, siempre que su poseedor los haya declarado o se hallen inventariados como BIC (Bienes de Interés Cultural) (VV.AA., 1985).

razones coinciden en exigir que determinadas obras de arte han de soportar el paso del tiempo conservando los valores inherentes a su estética y sin necesidad de recurrir a la restauración.

A modo de sipnosis, adelantamos que en la degradación de cualquier obra de arte inciden tres factores:

- 1. La naturaleza de los componentes del soporte y los procesos de manufactura.
- 2. Los <u>elementos sustentados</u>; considerando como tales las substancias de los procedimientos técnicos y su grado de compatibilidad con el soporte.
- 3. El medio y modo en que la obra cumpla su destino; este factor auna el montaje y las circunstancias que concurren con el devenir del tiempo (el ambiente).

El proceso de degradación es una estructura dinámica y abierta; en ella interactúan los tres vectores y, como en todo proceso sistémico, "el todo" es superior a la mera suma de las partes. Por razones claras de circunscribir la Tesis a un tema racional y abordable, nuestro estudio se centra en una sola parte, el soporte, pero se insiste a lo largo de las páginas, casi con machaconería, en que la conservación ha de ser integral y ha de atender el conjunto de riesgos.

Un sólo vector puede acarrear daños irreversibles y letales pues sus efectos acaban provocando un encadenamiento de factores agresivos. En cualquier caso, la lentitud o aceleración del proceso es directamente proporcional a la estabilidad del soporte. Es decir, el soporte es el elemento

fundamental porque si falla su naturaleza, desde que se materialice la obra de arte se estarán arrastrando y potenciando los "gérmenes patógenos".

Recurrir a la restauración es un remedio, pero ésta es siempre agresiva y costosa y ha de considerarse como el último extremo a tener en cuenta. Por ello, la teoría de la Conservación y la filosofía del Patrimonio Histórico Español (o del Patrimonio Cultural en términos universales) cargan el énfasis en la prevención: adelantarse al daño para prevenir y evitar las alteraciones del futuro.

La investigación no margina, sino por el contrario, tiene muy presentes todos y cada uno de los agentes agrupados como causas previsibles y constatadas en el deterioro; razones de alto coste económico y humano a la hora de subsanar los daños y, sobre todo, la exigencia de salvaguardar el patrimonio sin menoscabo del valor original, fuerzan a los expertos y técnicos en conservación a ser unánimes a la hora de considerar el soporte como clave esencial en la conservación de cualquier obra de arte.

# ¿Qué hacer con un soporte tan frágil como el papel?

Aunque el papel aparente ser un soporte sumamente frágil esto es verdadero sólo hasta cierto punto; un papel de buena calidad (entendiendo "calidad" desde el criterio de la permanencia) en un ambiente adecuado puede perdurar durante muchos cientos de años. Otra cosa ocurre cuando las materias que lo componen le dotan de una inestabilidad química incompatible con la permanencia, comportamiento bastante frecuente en los papeles actuales.

En el caso del ámbito bibliográfico-documental, con idénticos problemas de soporte que las obras artísticas realizadas sobre papel, se han potenciado al máximo las líneas preventivas, normalizando incluso las características de los papeles utilizados para libros y documentos de archivo<sup>1</sup>. Esta es la línea en que se enmarca esta Tesis, y esperamos que nuestra contribución redunde positivamente en el campo del arte, porque nada o muy poco están contando en esta previsión los papeles de uso artístico.

Sin embargo, desde el punto de vista de la problemática de degradación, se da la paradoja de que, en la aplicación de técnicas dedicadas a la restauración de Grabados y Dibujos, el camino recorrido arranca de antiguo y las intervenciones en esta parcela anteceden al interés por los libros y documentos de archivo. La explicación puede estar en que el arte, y los Museos en general, han despertado mayor atracción que los Archivos y las Bibliotecas. El arte, por ser de contemplación masiva ha primado (y prima) frente al disfrute individualizado y restringido de documentos o textos, excepto cuando se celebran determinados eventos o exposiciones muy puntuales.

Las obras artísticas sobre papel, por ser de materia no rígida y de caracteres muy particulares, participan de cierta ambigüedad cuando entramos en materia de conservación. Su lugar no está univocamente definido: según su finalidad entrarían a formar parte del mundo de la restauración de pintura, pero

Més adelante se analizará la trayectoria seguida y el camino que queda por recorrer dentro de esta preocupación de alcance mundial, con vistas a establecer una reglamentación que garantice normativamente la estabilidad del papel como soporte de un bien cultural.

debido a la materia que las conforma se incluyen en el llamado Patrimonio Bibliográfico-Documental.

En el campo de la restauración de obras de arte se diferencia claramente lo que son obras sobre lienzo, tabla, etc., de las realizadas sobre soportes afines a la documentación gráfica, en especial sobre papel, el soporte más frágil y versátil. Por esta versatilidad y por participar de la misma materia, es normal que su lugar esté, no entre las obras de Arte sino en el sitio dedicado a los materiales de Achivos y Bibliotecas. Así, el personal encargado de atender las alteraciones de los materiales bibliográfico-documentales se responsabiliza de la atención de cualquier obra de arte sobre papel, sin distingo de técnicas artísticas<sup>1</sup>.

Y el hecho enlaza con otra más de las contradiciones: pese a que, desde el invento del papel, se ha empleado regularmente este material para representaciones bidimensionales e, incluso, aunque en menor proporción, para arte de volumen, la mayoría de Museos ha dado mayor realce a la pintura de caballete o a las obras de mayor formato y volumen, que a las realizadas en papel<sup>2</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> En el caso del I.C.R.B.C. (Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales), dentro del Servicio de Libros y Documentos, el área de Grabados y Dibujos está destinada a la salvaguarda de obras de arte en materiales utilizados para la escritura (pergamino y papel). Dentro de esta aparente paradoja, y a título anecdótico, vale la pena recordar que los antecedentes del mencionado Servicio de Libros y Documentos están en el Departamento de Grabados y Dibujos adscrito al extinguido I.C.R.O.A (Instituto Central de Conservación de Obras de Arte). La creación de este Departamento, en 1966, fue fruto de la preocupación del entonces Director General de Bellas Artes, Don Gratiniano Nieto, ante la alarma causada por el deterioro de los grabados y dibujos de Goya en el propio Museo del Prado y el vacío profesional para hacer frente a la conservación de materiales gráficos.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> La prensa del pasado mes de julio denunciaba, a instancias del personal del Museo del Prado, la ausencia de un laboratorio de restauración dedicado a los Grabados y Dibujos

¿Es un desprecio de los especialistas en arte hacia las obras sobre papel?. Creemos que no es afirmativa la contestación. Simplemente, este tipo de obras si no se conservan en una condiciones adecuadas, se deterioran fácilmente y no son dignas de exhibición; además, una vez alterado el soporte, su recuperación es compleja y muy particularizada en razón a las características del papel.

El que la finalidad de muchas de estas obras de arte fuera actuar como ilustración del libro (estampas y miniaturas) junto a los motivos expuestos, hacen comprender la singularidad de esta categoría de obras de arte en talleres o laboratorios específicos para grabados y dibujos, su independencia respecto a los talleres generales de otras obras de arte y su dependencia de las áreas destinadas al libro y documentos escritos. En efecto, la conservación tiene más en cuenta la naturaleza del soporte que las características y técnicas de los elementos sustentados<sup>1</sup>.

Concluyendo, con el bagaje de la experiencia acumulada, y con conocimiento de causa sobre las alteraciones potenciales de los papeles de fabricación actual, se emprendió este trabajo centrado exclusivamente en los papeles utilizados como soporte de obras de arte. La finalidad perseguida es evaluar científica y objetivamente la estabilidad de la materia ante el transcurso del tiempo, alertar sobre los daños previsibles y aportar alguna solución que salve, aunque no lo llene, el vacío normativo sobre

En la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid, a cuya plantilla de profesorado está adscrita la autora de esta Tesis, la especialidad de Conservación y Restauración del Documento Gráfico se responsabiliza de impartir la enseñanza aplicada al tratamiento de las obras de arte sobre papel, sea cual sea la técnica; la particularidad del soporte explica asimismo que, en la rama restauración desarrollada en las propias Escuelas y Facultades de Bellas Artes, la disciplina sobre la restauración del papel se esté incorporado lenta y tardíamente a los planes de estudio.

las garantías mínimas que deben concurrir en los papeles fabricados para uso artístico.

En lógica con lo expuesto, las fuentes manejadas, por orden de menor a mayor fundamento dentro de la Tesis, responden a una vertiente triple:

- 1. "Empírica", adquirida con el cultivo y la práctica profesional.
- 2. "Bibliográfica", ineludible en toda investigación. Esta segunda fuente incluye también la temática y preocupaciones de "Grupos de Trabajo" a nivel nacional e internacional, con investigaciones en marcha; algunas de sus conclusiones han sido expuestas oralmente en Simposia, Congresos y otros debates científicos y tienen su eco a lo largo de este estudio.

La "normativa" actual en materia de papel también queda incluida en este tipo de fuentes. Es tal su interés y complejidad, que a su análisis y sistematización dedicamos la Segunda Parte de la Tesis (Cap. III).

3. El "lote de papeles en blanco", material básico, adquirido en el comercio. Pretende ser una muestra suficientemente representativa de los papeles utilizados por los artistas.

Este "conjunto" constituye el fundamento del soporte experimental de la Tesis y está compuesto por 55 tipos de papel, con un total de más de 2200 hojas tamaño DIN A 3 (aproximadamente 40 por cada clase de papel)<sup>1</sup>; a papeles que cuentan con cierta tradición en el comercio se ha añadido alguno más novedoso, como los de fabricación artesana o "a mano", el llamado

En la Parte III se detallan las características del lote y en el album Anexo, complementario al texto, se presenta un testigo material de cada tipo.

ecológico y reciclado e incluso el "pseudopapel" conocido con el nombre de papel sintético.

La información obtenida mediante el análisis de estos papeles se ha complementado con la recogida en los catálogos de distribuidores y fabricantes.

La metodología seguida en la Tesis es fundamentalmente experimental y analítica, contrastada por procedimientos estadísticos.

Sobre los fundamentos de las pruebas y su complejidad no vamos a insistir, pero hay que señalar que marcar y delimitar los criterios para el análisis ha exigido, a su vez, una investigación añadida a los objetivos iniciales.

#### 3.1 Criterios

Los criterios de partida, en todo trabajo de investigación experimental, son fundamentales: guían los procedimientos y la analítica a realizar, su seguimiento asegura la uniformidad y homogeneidad de resultados al aplicar el método analógico (contrastación) y además, como punto de partida, la confianza en la bondad de su elección garantiza la fiabilidad de conclusiones y la predicción del suceso, cuando los parámetros se mantienen en las mismas constantes o las circunstancias son concurrentes.

Por eso, antes de abordar el trabajo experimental era necesario tener la seguridad de que los criterios elegidos para realizar las pruebas y los análisis físicos y químicos eran los más correctos y acordes a nuestros objetivos: evaluar la permanencia de cada una de las muestras de un grupo de papeles de uso artístico.

Ni a nivel internacional ni nacional, existe una normativa específica sobre el uso de materiales en el arte, sea cual sea la naturaleza del soporte, incluído el papel. Sin embargo (y otra vez volvemos a la paradoja) la preocupación por el patrimonio bibliográfico-documental es pionero de una serie de normas encaminadas a la futura preservación del "Patrimonio-Histórico" (Capítulo III de la Tesis) a las que se añade, como ya sancionada, la norma ISO 9706, aprobada recientemente (1/3/1994).

Por las razones expuestas, para determinar los criterios hemos hecho un oneroso recorrido por las "propuestas normativas o la reglamentación aprobada", según áreas geográficas, teniendo en cuenta su repercusión en el mundo de la conservación de los materiales gráficos. En estas normas se perfilan y justifican los requisitos que, a juicio de determinados comités o grupos de expertos, han de garantizar la vida de ciertos papeles (raramente mencionan los de uso artístico). El objetivo último de estas normas está en determinar las exigencias que han de cumplir los papeles utilizados con fines bibliográficos o de archivo; es decir, los soportes de la documentación escrita como base de la historia.

Ante el vacío en materia artística sobre una normativa que asegure la permanencia del soporte, tras el análisis crítico de estas normas y de sus indicaciones, hemos optado por crear unos criterios específicos adaptados a los intereses de esta Tesis, siempre ceñidos a los de dicha reglamentación.

A tenor de lo expresado con anterioridad, las fuentes conjuntas para perfilar estos criterios aplicables al arte han sido:

- Las recomendaciones y regulación vertida en normas y reglamentos sobre la estabilidad del papel, generalmente referidas al campo de documentos gráficos de archivos y bibliotecas.
- Las inquietudes y llamadas de atención sobre aspectos muy concretos, hechas por diferentes investigadores, conservadores y usuarios.
- Nuestra experiencia profesional.

#### 3.2. Método

En la realización del trabajo se han aplicado pruebas y análisis, vigentes en los laboratorios de la Industria Papelera, en los Departamentos de Conservación, y en el propio Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (I.N.I.A., Departamento de Celulosas), adaptados a los criterios de partida y a las posibilidades de un trabajo personalizado dirigido a la finalidad concreta de Tesis Doctoral.

Más adelante (Parte Tercera) se detalla puntualmente el trabajo experimental realizado con vistas a calcular, según parámetros uniformes:

- 1. La predisposición a la estabilidad, según las características físicas y químicas de los papeles que conforman la muestra.
- 2 El comportamiento ante el paso del tiempo, mediante el proceso de envejecimiento acelerado en húmedo. Tras esta prueba se han repetido los análisis físicos y químicos.

3. En orden a los postulados de los expertos en conservación y de las investigaciones sobre las causas de degradación del papel, se han ampliado los objetivos, complementando los resultados del análisis de los papeles/muestra con un proceso añadido: la desacidificación.

#### Su cometido es doble:

- a) Por una parte, sirve para constatar, más fehacientemente, que los resultados alcanzados en el proceso de envejecimiento guardan relación directa con la presencia endógena de acidez en la estructura de los papeles.
- b) Por otra, ratifica la resolución de un procedimiento relativamente fácil, capaz de prevenir parcialmente la degradación del papel y, por tanto, favorecer las esperanzas de vida.

En la sinopsis adjunta se resumen los análisis llevado a cabo:

# Ensayos realizados para determinar la permanencia de los papeles del muestrario y estudiar la eficacia de la desacidificación.

Tras el estudio de las diferentes normas existentes relativas a la determinación de papeles permanentes, y basándonos principalmente en la norma ISO 9706 "Information and documentation-Paper for documents-Requeriments for permanence", se han seleccionado y realizado los siguientes ensayos:

## A. Ensayos previos al envejecimiento artificial:

- a. Ensayos preliminares (muestras sin desacidificar).
  - Determinación del gramaje de los 55 tipos de papel, según ISO 536.
  - <u>Determinación del contenido de humedad</u>, según ISO 287 (UNE 57.005). 110 determinaciones (55 x 2).

## b. Ensayos físicios (muestras sin desacidificar):

- <u>Resistencia</u>: Resistencia al desgarro en ambas direcciones de fibra, según ISO 1974-1990. Mínimo 1100 mediciones (55 x 20).
- <u>Propiedades ópticas</u>: Factor de reflectancia en el azul (grado de blancura), según UNE 57-062-72. Mínimo 550 mediciones (55 x 10).

## c. Ensayos químicos:

- \* Muestras sin desacidificar:
- Acidez:
- . Determinación del pH por extracción acuosa en frío, según ISO 6588-1981 (UNE 57-032-91). Mínimo 110 determinaciones (55 x 2).

- . Determinación del pH por contacto (lápiz indicador) según indicaciones de ANSI/NISO Z-39.48. Mínimo 110 determinaciones  $(55 \times 2)$
- Reserva alcalina: Determinación del contenido de carbonato cálcico en el papel, según ASTM D 4988-89. Mínimo 110 determinaciones (55 x 2).
- Elementos oxidables: Determinación del número Kappa, según ISO 302-1981 (UNE 57-034-91). Mínimo 106 determinaciones (53 x 2).

# Desacidificación de 53 tipos de papel (más de 600 hojas: 53 x 12)

- \* Muestras desacidificadas:
- Acidez: <u>Determinación del pH de extractos acuosos en frío</u> según ISO 6588-1981 (UNE 57-032-91). Mínimo 106 mediciones (53 x 2).
- Reserva alcalina: Determinación del contenido de carbonato cálcico en el papel, según ASTM D 4988-89. Mínimo 106 mediciones (53 x 2).

## B. Envejecimiento artificial

# \* Muestras sin desacidificar:

- Envejecimiento con calor húmedo (V.A.H.) durante 24 días según ISO 5630/3-1985 (UNE 57-092-91/4). Mínimo 636 hojas (53 x 12)

# \* Muestras desacidificadas:

- Envejecimiento con calor húmedo (V.A.H.) durante 24 días según ISO 5630/3-1985 (UNE 57-092-91/4). Mínimo 530 hojas ( $53 \times 10$ ).

## C. Ensayos tras envejecimiento artificial:

#### \* Muestras sin desacidificar:

- <u>Resistencia</u> tras V.A.H.: Resistencia al desgarro en ambas direcciones de fibra, según ISO 1974-1990. Mínimo 1060 mediciones (53 x 10 x 10).
- <u>Propiedades ópticas</u> tras V.A.H.: Factor de reflectancia en el azul (grado de blancura), según UNE 57-062-72. Mínimo 530 determinaciones  $(53 \times 10)$ .

### \* Muestras desacidificadas:

- <u>Resistencia</u> tras V.A.H.: Resistencia al desgarro en ambas direcciones de fibra, según ISO 1974-1990. Mínimo 1060 mediciones (53 x 10 x 10)
- Propiedades ópticas tras V.A.H.: Factor de reflectancia en el azul (grado de blancura), según UNE 57-062-72. Mínimo 530 mediciones  $(53 \times 10)$ .

Los **resultados**, presentados en forma de tablas y gráficos, han sido procesados y evaluados estadísticamente; para el cálculo de diferencias significativas mínimas (análisis de varianza) y de regresiones nos hemos ayudado de una aplicación informática (Minitab).

# 3.3. Instrumental y Laboratorios

Las pruebas en su conjunto han requerido instrumentos, instalaciones y equipos de diversa complejidad. Esta infraestructura de investigación ha sido proporcionada por diversos organismos<sup>1</sup>.

Es de justicia, por tanto, nombrar expresamente a estas entidades de las que nos hemos beneficiado y, una vez más, agradecer la ayuda prestada en el uso del material científico y el apoyo profesional y moral recibido del equipo humano:

- Ensayos Físico-Mecánicos: Departamento de Celulosas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Análisis Químicos: Departamento de Química y Física de la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid y Departamento de Pintura (Laboratorio) de la Facultad de Bellas Artes de la U.C.M.
- Envejecimiento Acelerado: ITSEMAP Fuego-Mapfre.

Los criterios adoptados elevaban considerablemente las cotas de exigencia respecto a las condiciones del proceso de envejecimiento acelerado, en razón al tiempo de uso -2 meses- y a las características de la cámara -capacidad y control de elevada temperatura y humedad combinadas-. Han sido muchos los centros a los que hemos acudido antes de resolver el problema; pese a la amabilidad demostrada (Facultad de Bellas Artes -U.C.M.-, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Centro Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Escuela de Montes -U.P.M.-, E.T.S. de Ingenieros de Caminos -U.P.M.-, E.T.S. de Ingenieros Industriales, Laboratorio Municipal de Madrid, Instituto Nacional de Consumo, Fábrica de Moneda y Timbre, Laboratorio Central de Estructuras y Materiales -CEDEX- y GEOCISA) nuestras necesidades y sus limitaciones no dieron el fruto deseado. Con todo, agredecemos su interés y buena disposición.

### 3.4. Registro de datos

Con objeto de registrar los datos obtenidos en los distintas pruebas se ha confeccionado una ficha para cada tipo de papel; el orden, por números correlativos, es acorde al listado de muestreo y sirve de referencia en los análisis y en las pertinentes conclusiones.

En estas fichas se han anotado las características de partida (información del fabricante), los resultados obtenidos en los ensayos físicos y químicos antes y después del envejecimiento acelerado y los valores alcanzados tras la desacidificación. El repertorio total de estas fichas conforma un Anexo al que se ha denominado "Corpus Documental", detallado dentro de este Exordio.

Las reflexiones vertidas en las primeras páginas y la exposición suscinta de fuentes, criterios y métodos se materializan en la estructura de la Tesis. Está compuesta por el "Texto" ilustrado con sus correspondientes complementos. La numeración es correlativa a lo largo de la Tesis, aunque se diferencian figuras, cuadros, tablas y gráficos. Un segundo volumen independiente está dedicado al "Corpus Documental", síntesis visual de toda la investigación.

#### 4.1. Texto

Está estructurado en tres grandes bloques (Partes Primera, Segunda y Tercera) independientes y complementarios, precedidos del Indice general, Resumen y Exordio y seguidos de las Conclusiones y de la Bibliografía. Apéndices e Indices de ilustraciones cierran el volumen.

La <u>Parte Primera</u> -"El papel como soporte artístico: naturaleza y estructura; causas y efectos de degradación" está subdividida en los Capítulos I -El papel como soporte de estampas y dibujos- y II -Patología de los papeles artísticos-. El objetivo de esta parte es obvio: el conocimiento de nuestro objeto de estudio -el papel para usos artísticos-. Se aborda la naturaleza del papel, según sean sus componentes y proceso de fabricación, haciendo hincapié en los atributos que le confieren las características que influyen en su

permanencia y en su adecuación como soporte de determinadas técnicas artísticas. Es una parte complementaria, pensada para introducir en la temática del estudio y sentar la base de una serie de conceptos y conocimientos necesarios para el desarrollo de la Tesis.

En el Capítulo I se expone una síntesis de la trayectoria de la fabricación del papel, marcando el énfasis en las etapas que suponen un hito en el empleo de nuevas materias primas y en la transformación de los procedimientos de manufactura. Unas y otros són responsables de las características que hacen que un papel sea más o menos idóneo, tanto por su estabilidad como por su aplicación a determinadas técnicas artísticas. También se recogen las preocupaciones actuales sobre la calidad del producto así como alternativas que no pueden pasar desapercibidas (papel artesanal, ecológico/reciclado y papel sintético).

El artista valora de un modo especial estas cualidades físicas que, con frecuencia, condicionan la elección de un tipo de soporte, sea por adecuación a los procedimientos artísticos, por los efectos estéticos o porque el autor, en su faceta investigadora y creativa, busca nuevas experiencias junto a la posibilidad de combinar diversos materiales. Es por esto que se dedica un apartado para reseñar, a grandes rasgos, las exigencias mínimas que la tradición en el uso y la satisfacción de resultados acuñan como apropiadas a determinadas técnicas (aguadas, dibujo, calcografía, etc.)

En el Capítulo II se sintetizan las causas y efectos de degradación habituales en este tipo de soporte celulósico. Para una mejor comprensión las causas se agrupan en "intrínsecas", es decir, consustanciales a la obra de arte

y por tanto al soporte y "extrínsecas" o procedentes del medio ambiental. El conocimiento del origen de estas causas de alteración será primordial para la comprensión de las características necesaria para considerar un papel como permanente.

La <u>Parte 2ª</u> "La permanencia del papel", donde se incluye el Capítulo III
-A la búsqueda de un papel permanente: El papel permanente y su
normalización-, introduce al lector en la problemática de la definición de
"permanencia" cuyo concepto determinará toda la metodología experimental.
Tiene como finalidad determinar los criterios a seguir en la investigación.

Basándonos en la existencia de una normativa referida a la permanencia del papel, se busca el método más adecuado para evaluar la permanencia de nuestros papeles artísticos. Para ello, se realiza un recorrido historiográfico sobre la trayectoria de la normativa internacional en la materia que nos ocupa, gracias al cual hemos podido seleccionar y adecuar un grupo de normas, dada la inexistencia de una normativa completamente acorde con nuestros objetivos.

Queremos hacer hincapié en que, a diferencia de la parte anterior, el texto en conjunto, aunque tremendamente árido por el caracter de su contenido, supone una aportación historiográfica, ya que recoge a nivel de comparación, análisis y crítica, una visión conjunta de toda la normativa y sus particularidades. Máxime si tenemos en cuenta que el "movimiento normativo" está en constante efervescencia, tanto que durante la elaboración de esta tesis aparecieron proyectos de normas con las que en un principio no habíamos podido contar, y que incluso, en el caso de la norma internacional ISO 9706, terminaron convirtiéndose en norma internacional en fecha muy reciente

(primera edición en Marzo de 1994; disponible en España desde Junio). Esto ha supuesto un auténtico "rastreo" de las normas, que aún no ha concluido, ya que todavía esperamos la divulgación de bastantes proyectos y la publicación de algunas normas.

El conjunto de la normativa existente debe hacernos reflexionar sobre la importancia que se está dando a la conservación del papel en muchos sectores, y sobre la obligación de seguir una metodología prefijada, cuando ésta existe, si se pretende realizar un estudio contrastable.

Aunque una vez encauzados los criterios experimentales de esta Tesis dicho estudio comparativo pueda resultar "anecdótico", ha sido absolutamente imprescindible llevarlo a cabo, y en forma tan exahustiva, pues sólo así se ha podido constatar la inexistencia de una normativa adecuada, a la vez que se ha podido diseñar un método acorde con nuestros objetivos. Por esta razón las conclusiones de esta parte son referencia básica y obligada para el desarrollo de la Tesis.

La analítica, el fondo y grueso de este trabajo, se ha separado en la Partes 3ª -Comportamiento de los papeles comercializados con fines artísticos, y propuesta de estabilización-. El desarrollo de sus capítulos ha consumido el mayor tiempo dedicado a la Tesis y los resultados alcanzados son la contribución que podemos ofrecer al campo científico y a la cultura, de modo general, y a los artistas de manera particularizada.

Reconocemos de antemano lo arduo de su lectura y la complejidad del contenido, pero el texto exige una atención especial, evidentemente ineludible,

sobre todo en lo referido a la discusión de resultados. Los cálculos estadísticos son resolutivos y determinantes: verifican y validan las conclusiones finales, siempre que criterios y métodos hayan sido correctos. Para facilitar la comprensión y lectura del conjunto se han elaborado tablas y gráficos, y el texto se ha ordenado de manera que al final de cada apartado se van estableciendo conclusiones parciales que quedan definitivamente elaboradas tras cada capítulo mediante la contrastación de hipótesis.

El Capítulo IV, "Estudio analítico", se inicia con la explicación del muestreo y sigue con la elaboración de las diferentes pruebas, medios, resultados y verificaciones. Tablas y gráficos ilustran visualmente la contrastación de resultados, hasta llegar a la valoración final del comportamiento de los 55 papeles manejados como muestra.

El análisis de los 55 tipos de papel, además de evaluar su adecuación, nos permite realizar un estudio comparativo de los diferentes criterios aplicados para determinar la permanencia. Consideramos de gran interés sus resultados, ya que demuestran la necesidad de una normativa acorde a los requisitos de permanencia de los papeles artísticos.

El Capítulo V, "Desacidificación y evaluación de resultados" se fundamenta en el Capítulo IV, pero es independiente.

Tal como era de esperar, un buen número de los papeles analizados no son tan satisfactorios como desearíamos. La constatación de esta realidad podría haber sido suficiente para cumplir los objetivos de la Tesis, pero hemos querido ir más allá aportando una fórmula que pueda paliar las dolencias congénitas de algunos papeles.

Tras comprobar que uno de los peores males es la acidez y siguiendo los postulados de muchos autores, hemos dotado al bloque de papeles de una "mayor alcalinidad", confiando en que las hipótesis derivadas de la eficacia de la esacidificación como "tratamiento de restauración" fueran válidas como "tratamiento preventivo".

A tal efecto, tras desacidificar los papeles, se ha repetido todo el proceso reflejado en el Capítulo IV, con las mismas pruebas y criterios, y se han comparado resultados con los parámetros alcanzados antes y después de este experimento.

Las Conclusiones de todo el desarrollo de la investigación cierran el trabajo. En este texto retomamos las conclusiones parciales y sintetizamos los resultados obtenidos. A tenor de esta aportación, trazamos, de modo orientativo y simplemente como complemento ineludible, las condiciones preventivas a tener en cuenta si el autor, el usufructuario, un museo o una sala de exposición... tienen voluntad real de conservar en toda su integridad una obra de arte sobre soporte de papel.

Finalmente, cerrando el volumen, aparecen una serie de Apéndices:

- El apéndice 1 facilita las direcciones y sedes de los distintos organismos encargados de la normalización, que aparecieron mencionados a lo largo de la Parte II. Estos datos, a veces no suficientemente accesibles,

facilitarán al lector interesado la consecución de mayor información o el seguimiento de determinadas normativas.

- El apéndice 2 está constituido por los datos y cuadros obtenidos mediante el análisis estadístico, comentados en el capítulo V (Diagramas de dispersión y cálculo de coeficiente de correlación lineal).

A los apéndices anteceden al aparato de la <u>Bibliografía</u> (Bibliografía, Normas consultadas y aplicadas, y Catálogos de firmas comerciales).

# 4.2. El Corpus Documental

Este tomo anexo al texto de la Tesis es fundamental para seguir y valorar el trabajo presentado. Consta de 55 fichas independientes (tantas como tipos de papeles se han utilizado en el tratamiento experimental).

Incluidas en cada ficha aparecen tres testigos de papel que corresponden:

- a) Aspecto original de la muestra.
- b) Aspecto tras el envejecimiento acelerado.
- c) Aspecto tras envejecimiento acelerado previa desacidificación.

Las respectivas casillas están diseñadas para rellenar con sus correspondientes claves los registros que aparecen reflejados en el modelo presentado en la página siguiente.

Con la idea de que esta Tesis sea accesible al mayor número de personas, se han incluido en la redacción explicaciones sobre tecnología papelera, procesos químicos y físicos que influyen en la alteración de los papeles, métodos de análisis y estadística. Pedimos disculpas a los científicos habituados a esta

terminología, a los que dichos comentarios puedan resultar obvios, pero entendemos que a los artistas, a los que en definitiva va dirigido este trabajo -aunque en muchos casos puedan estar más informados que la doctoranda-estas aclaraciones pueden serles útiles para seguir con menor esfuerzo la lectura y hacer más comprensible la metodología y las conclusiones de la Tesis.

#### **MODELO DE FICHA**

NOM	BRE:	
-----	------	--

MARCA:

 $N^o$ :

PRINCIPAL APLICACION: **OTRAS APLICACIONES:** 

**CARACTERISTICAS** 

OTRAS POSIBILIDADES

Gramaje (g/m²):

Verjura:

Gramaje (g/m²):

Color: Grano: Barbas: Filigrana: Color: Grano:

OTRA INFORMACION DEL FABRICANTE

**ANALISIS** 

Acidez (pH): Reserva (%): Desgarro M (mN): Desgarro T (mN):

Gramaje (%): Peso seco (%):

Nº Kappa:

Desgarro × (mN):

Blancura (%):

**ENVEJECIMIENTO** 

Retención Desgarro M (%):

 $f_1-D$ :

Retención Desgarro T (%): Retención Desgarro 🛚 (%):

Reversión Blancura:

DESACIDIFICACION

Acidez (pH):

Retención Desgarro M (%):

 $f_L$ -D:

Reserva (%):

Retención Desgarro T (%): Retención Desgarro 🛚 (%):

Reversión Blancura:

INTERPRETACION DE RESULTADOS:

PARTE PRIMERA: El papel como soporte artístico - Naturaleza y Estructura

I - El papel como soporte de estampas y dibujos



Dibujos y estampaciones se han hecho sobre soportes de todo tipo y naturaleza, generalmente en concordancia con los materiales típicos de la grafía de cada época y lugar (Romero, 1994), pues está bien documentado (Escolar, 1988) que, a través del tiempo, obras de arte y escritura han compartido desde materiales inorgánicos (soporte de piedra y metal) hasta los modernos materiales sintéticos ("papel poliéster").

Entre los soportes de materia inorgánica, los más utilizados han sido la piedra y la arcilla, base de la escritura más primitiva, y soporte prioritario de las representaciones artísticas más antiguas, sin distinción de sociedades literarias o ágrafas<sup>1</sup>.

Dentro de los materiales orgánicos, en el grupo de naturaleza proteínica se han empleado huesos, caparazones de tortuga, pieles y tejidos (de seda o de pelo de animal). Entre las pieles destacan sobre todo las semicurtidas; precisamente esta modalidad (pergamino y vitela) ha sido base de piezas de tan alto valor artístico, como la miniatura medieval (Paech, 1987). Pergamino y vitela forman parte de los soportes blandos más utilizados en la escritura e ilustración, al igual que las materias de naturaleza vegetal.

Bajo el prisma de los testimonios conservados es neto el dominio de materiales inorgánicos pero, en origen, debió ser mayor el número y la variedad de soportes orgánicos (pieles, tejidos, huesos, madera, cortezas, etc.). A partir de la Edad Media aumenta paulatinamente el número e integridad de los materiales menos resistentes, porque se acorta la distancia cronológica evidenciando claramente que no es cuestión de cantidad sino que las lagunas y pérdidas son directamente proporcionales al paso del tiempo y a la inestabilidad de la materia.

En el grupo de materiales orgánicos de naturaleza vegetal o celulósica, los que aquí interesan, contamos con una gran variedad de soportes, desde los que no necesitan una previa manufactura (las tablillas de madera, las cañas, las hojas de palmera o la corteza de los árboles), hasta materiales que requieren una elaboración que puede conllevar un alto grado de desarrollo técnico, como es el caso del papel actual.

Entre los materiales vegetales que precisan manufactura se encuentran las telas de fibras vegetales, el papiro, el amatle y el papel.

El papiro (Cyperus papyrus) se obtiene de la planta denominada comunmente con el mismo nombre. Se utilizó como soporte de la escritura en Egipto desde el tercer milenio A.C., y su uso perduró, aunque ya como soporte poco común, hasta los siglos XI-XV d.C. El tallo del papiro, formado por capas concéntricas, se corta longitudinalmente para obtener linas tiras que se colocan formando una primera capa, sobre ésta se superpone una segunda en dirección opuesta; una vez prensado el conjunto, se obtienen hojas que se unen entre sí, pudiendo dar lugar a largas tiras que se manejan enrolladas.

El amatle, o "huun", se parece mucho más a lo que denominamos papel. Es un conglomerado de fibras obtenidas al machacar las raices o ramas de un árbol del género Ficus; las fibras se disponen húmedas sobre una superficie plana y se dejan secar, posteriormente se alisan, obteniéndose de esta manera una superficie apta para la escritura y el dibujo. Este soporte es originario de América Precolombina. En algunos pueblos de Asia Oriental y Oceanía se han usado soportes parecidos al amatle, como el "tapa", propio de algunas islas del Pacífico, como Haway o Tahití, y el "Bai-lam", de Tailandia.

Cuadro 1: Antecedentes del papel en el mundo

(	1 5	
Región	Escrituras propias, o no	Material
África negra.	Aborigen sin escri- tura.	No hay antecesores de papel.
África Norte.	Hiroglifas de los egipcios, etc.	Papiro en Egipto, papel por los árabes en el Magrheb, siglo ix,
América Norte.	Muy dudoso; se su- pone a veces que había alguna es- critura de simbo- los; la mayoría dice que no exis- tía.	
América Central.	Varias.	Telas, amatl.
América Sur.	Recién aclarado si.	Telas, cerámica.
Asia Norte, estepas hasta norte de Eu- ropa.	Varias (grabaciones).	Placas de hueso, pieles, cortezas de abedul y palillo de haya, telas.
Asia Contral.	Varias.	Pieles, ladrillos cocidos, corteza de abedul, sedas, papeles barnizados (influídos por los chinos), papel en Samarcanda, siglo viii.
Asia Oriental.	Varias.	China y Japón: tablillas de bambú, sedas, el papel, papel de arroz.
Asia Sur y Sureste (islas).	Varias (grabaciones).	India: tablillas de madera, cortezas. Indochina: hojas de plamera, pa- peles de moral (influido por los chinos). Islas: hojas de palmera, telas.
Europa Central.	Aborigen sin escri- tura.	Introducido, del Oriente Medio, el pergamino.
Europa Norte.	Véase Norte de Asia.	
Europa Sur.	Véase Oriente Me- dio.	
Oceania y Australia.	Aborigen sin escri- tura.	Occanéa: «papeles» de fibra natural para pintar.
Oriente Medio, el mundo de la an- tigüedad medite- rránea hasta Per- sia.	Varias eserituras y los sellos cilíndri- cos para firmar.	Ladrillos de la escritura cuneiforme y de escrituras persas (hasta la parte occidental) de India, rollos de cuero y de láminas de cobre, pergamino, procedente del norte de África el papiro, papel rústico en Bagdad, siglo VIII-IX.

En la actualidad, el soporte casi exclusivo para la realización de grabados y dibujos es el papel. El papel, al igual que el amatle, está formado por un conjunto de fibras, generalmente de origen vegetal, que forman una superficie plana; a estas fibras pueden añadirse diversas materias (encolantes, colorantes, blanqueadores, cargas de relleno, etc.), capaces de proporcionar unas características determinadas, según el uso al que vaya destinado.

Tradicionalmente se viene admitiendo que el papel como tal apareció en China, en el siglo II d.C.; en realidad su uso se generalizó a partir de esta época, una vez perfeccionado el proceso de fabricación, pero los restos arqueológicos del papel más antiguo están datados en el año 205 a.C. (Museo de La Ruta de la Seda en Xi'an).

Esta aparente contradicción se justifica por la existencia de un material muy parecido que resulta su más cercano antecedente: el fidaliz o proto-papel, obtenido a partir de una amalgama de restos de seda y tejidos que, tras desleirse en agua, y su pérdida posterior, constituía un conglomerado laminar más o memos uniforme, pero de escasa consistencia. Esta condición obligaba a que el fidaliz tuviese que ir adherido a un soporte a base de tablillas de bambú u otro material.

La Historia China atribuye el invento del fidaliz a Han Hsin, aproximadamente en el año 200 a.C., y este dato se corresponde claramente con los restos de "papel" encontrados en excavaciones arqueológicas chinas¹ que, para mayor concordancia con la historia, aparecen pegados a tabletas, u ofrecen una consistencia tan frágil, por falta de encolado, que hace pensar en la desaparición de la madera. Las fibras son de lino u otras materias textiles, pero la seda no aparece, cosa que tampoco es de extrañar por su menor resistencia al paso del tiempo.

William et al. (1981) mencionan el descubrimiento, en 1957, de fragmentos de papel amarillento en la tumba de Pa-Ch'iao, en Sian, que parecen pertenecer a la dinastía Han -202 a.C. / 9 d.C.-. Keim (1966, 33) también informa de restos de papel hallados en una tumba, en Schansi, datados en el año 140 a.C.

La invención del papel, con su aspecto y consistencia característicos, se atribuye a Ts'ai Lun en el año 105 d.C. Quizás su mérito consistiera en añadir a las materias de fidaliz una sustancia encolante, probablemente a base del extracto de un alga marina (agar-agar), aunque lo más seguro es que su aportación fuera ofrecer al Emperador Chino (Ho-ti 96-105, Dinastía Hang) este soporte de uso popular, ligeramente perfeccionado, para que lo adoptase como soporte de la escritura en su biblioteca, en sustitución de los caros rollos de seda y de las incómodas tabletas de bambú.



Fig. 1 - Artesanos de papel oriental: encolado y formación de la hoja

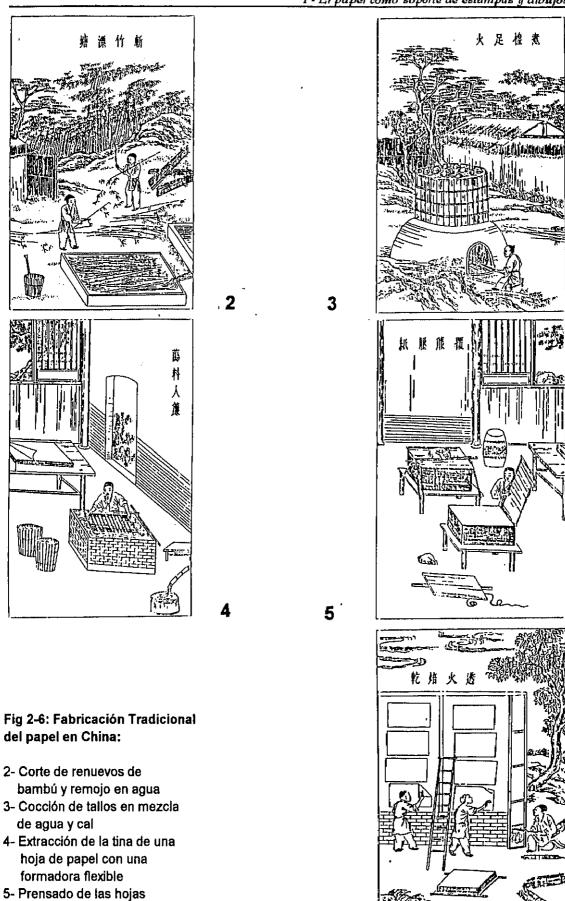
No se sabe si el empleo de fibras no textiles, como la morera y el bambú, y el uso de bastidores para la formación de la hoja se deben atribuir a este inventor, o si se fueron desarrollando mucho antes de que este descubriera la manera de dar consistencia al papel.

El método tradicional de fabricación de papel en China consistía en el remojo de los vegetales y restos de tejidos (Fig. 2), su cocción en agua de cal, en algunos casos (Fig. 3), y la colocación de la pasta obtenida en tinas, de las que se extraía mediante un tamiz o formadora (Fig. 4). El tamiz se hacía con un entramado de juncos o fibras hiladas de bambú sujeto a unos bastidores; los juncos dejaban en el papel una marca característica, denominada posteriormente verjura, visible al trasluz, en la mayoría de los casos (Fig. 5).

Tras la formación de la hoja venía el prensado y secado al sol o pegando las hojas a las paredes calientes del exterior de un horno, de especial construcción para este fin. Finalmente, se encolaban con una brocha mediante sustancias vegetales obtenidas de algas, raíces o almidones, y se pulían con bruñidores de piedra o hueso (Fig. 6)<sup>1</sup>.

ķ.

Un método menos evolucionado, todavía en uso en algunas regiones orientales, consiste en sacar la pulpa con la formadora (o verterla directamente sobre ésta), dejándola secar al sol hasta que la hoja adquiere consistencia.



6

6- Secado de las hojas en muro

hueco calentado

El papel llegó al mundo occidental de manos del pueblo árabe<sup>1</sup>. Su presencia está documentada desde el siglo X en Córdoba y Sevilla<sup>2</sup>. A partir de este momento el papel se difunde también por territorios cristianos, compitiendo con el pergamino, a la vez que aparecen molinos papeleros por toda Europa, de forma lenta pero progresiva<sup>3</sup>.

La fabricación del papel en Occidente difería en cierto modo de la oriental, pero se basaba en el mismo proceso. Los árabes incorporaron, en el siglo IX, el tejido de algodón como materia prima, pero el papel europeo se realizaba mayoritariamente con fibras textiles de cáñamo y lino, obtenidas a partir de trapos. Esto fue lo común desde el siglo X hasta el XIX, en el que la escasez de trapos frente a la demanda del papel hizo que se buscaran materias primas alternativas, de esta necesidad surgió el empleo de la madera (1853) como base de la obtención del papel.

El sistema chino fue celosamente guardado, y poco difundido. Pasó primero a Corea y a continuación a Japón (siglo VII), donde se perfeccionaron los métodos, consiguiéndose papeles de mejor calidad. Pero en el siglo VIII los árabes conquistaron territorios chinos (Samarkanda: 751 d.C.) y obtuvieron el secreto de prisioneros fabricantes de papel, difundiendo el uso de este soporte por todos sus dominios, incluída España.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El Breviario Gótico, o Misal Mozárabe, del Monasterio de Santo Domingo de Silos, parece ser el códice de papel más antiguo de Europa (siglos X-XI) (Escolar, 1993, 238).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> En Francia el primer molino de papel data en el siglo XII, en Italia en el XIII, Alemania en el XIV, Suiza, Austria e Inglaterra en el XV; Suecia, Méjico, Holanda y Dinamarca en el XVI y Rusia y Norte de América en el XVII.

En la España cristiana el papel alcanzó una gran difusión, sobre todo en la zona levantina (Cataluña y Valencia), donde están localizados los restos de unas siete decenas de molinos papeleros desde el siglo XII. El hecho evidente es que aproximadamente en el siglo XVI, según las zonas, el papel había desplazado completamente al pergamino, por su menor coste y facilidad de manejo. Oriols Valls (Museu Molí...1991, 69-75) ubicó los antiguos molinos papeleros de la zona de Cataluña. De estos antiguos molinos todavía se conserva, en funcionamiento, y a modo de museo, el Molino Papelero de Capellades. Su edificio actual data del siglo XVII.

La misma demanda del producto, junto a la evolución técnica de la época, supuso el abandono del antiguo método de fabricación de papel -hoja a hoja mediante una formadora- y la aparición de las máquinas de papel continuo (1790), con las que se lograban largas tiras de papel con un coste menor, tanto económico como de tiempo.

Así nos encontramos con dos tipos de papel de características muy distintas, según sea fabricado antes o después del siglo XIX: el papel artesanal, obtenido manualmente con pasta de trapos, y el papel fabricado en máquina continua con pasta de madera. Como es evidente ambas características no son excluyentes, y podemos encontrar papeles continuos realizados con pasta de trapos, y papeles "a mano", realizados con pasta de madera.

Por esta razón analizamos por separado cada una de estas categorías, porque las características de la pasta y la forma de fabricación son responsables de las cualidades y diferencias que individualizan los distintos grupos de papel.

### 2.1. EL PAPEL "A MANO"

La fabricación del papel "a mano" o también denominado "de tina", se realizaba tradicionalmente en los antiguos molinos papeleros, con pasta de trapos<sup>1</sup>.

Aunque el proceso de fabricación del papel a mano en Occidente fue evolucionando desde su entrada en España (siglo X) hasta su época de apogeo (finales del siglo XVIII y principios del XIX), el proceso completo de la fabricación del papel a mano de forma tradicional consta, en términos generales, de las siguientes fases:

- Bateo de la pulpa de papel y traslado a la tina
- Formación de la hoja de papel
- Colocación de las hojas entre bayetas (ponar), formando la "posta de pliegos"
- Prensado de la posta de pliegos
- Deshecho de la posta de pliegos, eliminando las bayetas (levar) y formando la "posta blanca"
- Prensado la posta blanca
- Deshecho de la posta blanca y secado de los pliegos en el secadero y tendedero
- Encolado del papel
- Prensado del papel encolado

Actualmente se está revalorizando este sistema para papeles de gran calidad, por lo que han proliferado empresas, de mayor o menor envergadura, que se dedican a la manufactura de papeles según métodos artesanales. En este caso, se suele obtener la pulpa de la industria papelera, y se sustituyen algunos de los tradicionales componentes del papel, por ejemplo los encolantes, por otros modernos de mejor calidad, a la vez que se experimenta con variedades de texturas, combinaciones de fibras de distintos colores y materias, grados de absorbencia, etc., con el fin de proporcionarle al artista una gama de soportes cada vez más variada.

- Tendido del papel encolado
- Prensado del papel seco
- Satinado o bruñido del papel
- Selección de los papeles según la calidad o acabado
- Confección de las resmas
- Desbarbado de las resmas
- Embalado del papel y almacenamiento

El proceso de formación de la hoja de este papel artesanal comienza con el transporte de la pulpa o pasta de papel recién preparada (en forma líquida) a unas tinas, donde se mezcla con más agua y se bate para desleirla y dispersarla; este proceso se denomina tradicionalmente bateado<sup>1</sup>.

Una vez obtenida una buena mezcla de fibras en suspensión acuosa, de aspecto lechoso, se pasa a la etapa más delicada de la manufactura del papel: la formación de la hoja, que es llevada a cabo por el maestro (alabrén o sacador).

La pasta, más o menos diluida, según el espesor deseado del papel, se extrae de la tina con una especie de cedazo rectangular, llamado forma, formadora, formeta, costillada o molde<sup>2</sup>.

Si la pulpa recien preparada no se emplea en un corto espacio de tiempo, se pudre. Para evitar la putrefacción se puede dejar secar hasta que quede convertida en una materia sólida, con forma de bloques o cartones. En este caso el desleido se realiza durante un tiempo aproximado de una hora en un cilindro desleidor (tipo pila holandesa, que será descrita posteriormente), o por medio de unos mazos de cabeza plana

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Aunque en España no parece haber sido práctica común, en otros países europeos la tina se mantiene caliente, esto puede lograrse introduciendo un tubo de cobre dentro del cual se quema carbón o colocando la tina detrás de un horno que llena el tubo de aire caliente. Según los defensores de esta costumbre, el papel fabricado con agua fría se seca más lentamente y parece ser más endeble (La Lande, 1778).

La formadora es una rejilla de hilos muy finos, generalmente de cobre o latón, aunque hoy se están sustituyendo por alambre metálico galvanizado. Los hilos se disponen, transversal y longitudinalmente, sobre un marco de madera con unos fustes o travesaños que sostienen el entramado. Los hilos que cruzan horizontalmente la forma se llaman pontizones o puntizones, y se disponen unos muy cerca de otros para formar el entramado. Los puntizones se sustentan sobre otros mas gruesos y espaciados llamados corondeles, que se colocan en la misma dirección que los entrepaños, a los que van cosidos con finos hilos metálicos.

La trama de los corondeles y puntizones propios de la formadora artesanal queda marcada en el papel, al depositarse menos pulpa sobre el relieve; esta marca se denomina verjura o vergé, y el papel que la lleva papel verjurado, vergé o vergueteado (Diccionario R.A.E.).

A esta señal de identidad del papel de tina, se une, a partir del siglo XIII en Italia, la filigrana. La filigrana se logra cosiendo en la formadora, generalmente con alambre, una figura identificativa del molino del que procede el papel; esta señal queda marcada en la hoja al igual que la verjura, y es visible, como ésta, a simple vista o colocando el papel al trasluz (Briquet, 1968)<sup>1</sup>.

La primera filigrana de la que se tiene conocimiento data de 1282 y es de Bolonia. El estudio de las filigranas de los papeles antiguos constituye una importante fuente para la investigación sobre la procedencia de un papel, al igual que el análisis, en la verjura, de la separación y regularidad de los corondeles y puntizones, pues según van pasando las décadas su fabricación es más cuidada, lo que se evidencia en las líneas más paralelas y en las distancias entre estas, más regulares (Valls, 1970).

Para la datación del papel a partir de sus filigranas, véase I-lidalgo (1994), donde se incluyen interesantes referencias hibliográficas sobre este tema.dada, lo que se evidencia en las lineas más paralelas y en las distancias entre éstas, más regulares

La verjura, tenida como propia de los papeles de tina, no es una característica obligada en estos, a pesar de que comunmente se identifique el papel verjurado con el papel hecho a mano. A partir del año 1797 se realizan, en Alemania, papeles de tina llamados papel vitela, por semejanza a la superficie de esta piel (pergamino muy fino obtenido de animales recién nacidos o nonatos); en contraposición al papel verjurado, el papel vitela se caracteriza por una superficie sin marcas, especialmente demandada y apreciada por artistas e impresores de libros, que gustaban de un acabado cada vez más regular y perfecto, lo más liso posible (la carencia de verjura se consigue empleando una formadora de tela tejida -tela de lienzo- o de tela metálica de trama muy fina).

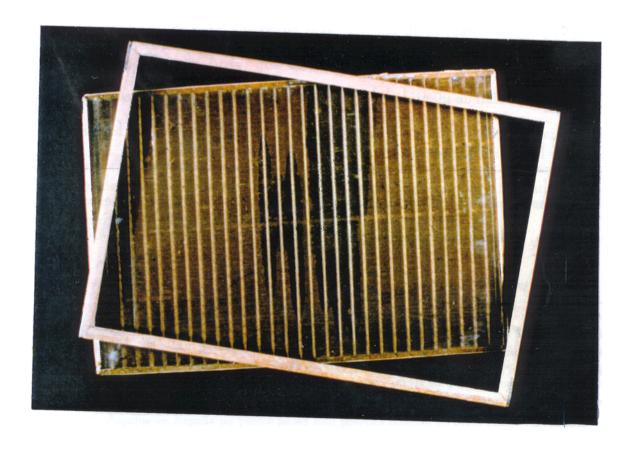


Fig. 7 - Formadora con marco.

La formadora se complementa con el marco, frasqueta o cubierta, que es una moldura interior de madera que se encaja sobre la forma. A la vez que impide que la pulpa que llena la formadora se vierta por los laterales, sirve para regular el grosor del papel<sup>1</sup>.

La formadora se sujeta con las dos manos, sosteniendo su marco con los pulgares, de esta manera se introduce en la tina, verticalmente, hasta que, a una profundidad determinada, se coloca de manera horizontal y se extrae de la tina; una vez extraida se mueve con un suave balanceo, de derecha a izquierda y de atrás a delante, para que la pulpa quede bien distribuida y se entrelacen las fibras entre sí ("pasear" la pulpa).

Una vez que la mayor parte de agua se escurre entre los hilos de la formadora, se coloca sobre un escurridor o tablilla agujereada hasta que es recogida por su ayudante (ponedor)<sup>2</sup>.

La profundidad a la que se introduce la formadora, junto con la densidad de la pulpa y la velocidad de extracción, determina el grosor de la hoja de papel (se requiere una gran habilidad para lograr hojas uniformes y de un mismo grosor).

La tendencia natural es que al sacar la forma ésta se incline un poco más hacia el lado opuesto al del maestro formador (laurente), este lado queda siempre un poco más fuerte y se llama la buena orilla, mientras que el lado que quedaría más proxima al cuerpo del operario es la mala orilla. En muchos molinos el maestro papelero fomenta este efecto al procurar que la esquina derecha quede más gruesa, con objeto de dejar un lado más resistente por donde agarrar el papel en las operaciones posteriores sin que resulte dañado.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Precisamente para evitar el inconveniente del peso y a la vez conseguir siempre introducir la formadora a la misma profundidad, en algunos talleres se han ingeniado modelos de grandes formadoras colgadas del techo que descienden y suben mediante poleas. Esta es el método empleado por la empresa Meirat (Madrid).

Colocada la formadora sobre el escurridor, el maestro formador levanta su marco y el ponedor la recoge para volcar la pulpa sobre un sayal, o bayeta, húmedo. Los sayales son paños, generalmente de lana, aunque hoy se emplean también de materiales sintéticos. Es necesario que estén mojados y no sean de tejidos vegetales para evitar que se queden pegadas las hojas.

Tradicionalmene los sayales de lana tenían las dos caras distintas, una con más pelo que la otra, por tenerlo cardado. En este caso el pliego de papel recién hecho se tiende sobre la superficie con menos pelo, para no quedar dañado al estar tan tierno, lo que ocasiona una diferencia entre las dos caras del papel, tanto de textura como de absorbencia. Estas superficies recibirán el nombre de cara tela y cara bayeta según hayan estado o no en contacto con la formadora.

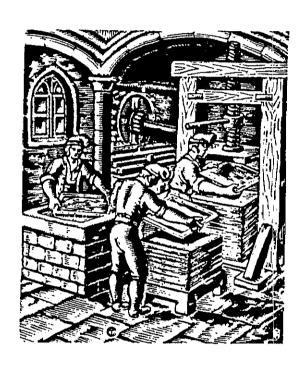


Fig. 8 - Formación, ponado y prensado de la hoja.

El maestro papelero trabajaba con dos formadoras, de manera que una vez extraida la primera y quitado el marco, se lo ponía a la otra e iba sacando una nueva hoja de papel mientras el ponedor colocaba la primera sobre un sayal.

El banco que sustenta los sayales se denomina tradicionalmente "banca de ponar", ya que la operación de colocar la pulpa sobre las bayetas se conoce como "ponar".

Cuando se consigue una altura determinada (normalmente 260 hojas entre 261 sayales<sup>2</sup>), la posta de pliegos se coloca entre tableros (cubierta del drapán) y se prensa durante unos quince minutos. Este es el primer secado, donde se pierde la mayoría del agua y se regulariza el grosor de las hojas<sup>3</sup>.

Una vez escurridos los pliegos, se sacan de la prensa y se procede a la operación, muy delicada, llamada "levar". Consiste en ir separando cada hoja del sayal, colocándolas en un plano inclinado (banca de levar) y para ello al levador, o elevador, le suele ayudar un virador, que va levantando los sayales mientras este separa los pliegos.

Cuando este proceso se ha realizado con la mitad de la posta, se colocan dos sayales encima que se aplastan con las manos, y cuando finaliza la operación, se prensan de nuevo en una prensa más pequeña llamada prensilla.

Este último prensado es más suave pues el papel podría cortarse y sirve para dar cuerpo y uniformidad a la superficie del papel. Cuando los pliegos se

Para ponar se coloca la forma llena de pulpa perpendicularmente, apoyada por uno de sus lados, y una vez calculado el espacio para que la hoja quede centrada, se vuelca sobre un sayal, presionándola sobre éste para que la pulpa se desprenda bien de la formadora. Sobre la hoja colocada se superpone un nuevo sayal, sobre el que se colocará una nueva hoja de papel; este conjunto de hojas y sayales se denomina posta de pliegos, de bayetas o de sayales.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Para, tras eliminar las hojas con taras, obtener una posta (250 hojas).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> La prensa tradicional es la de tornillo o husillo, pero actualmente se usa, con muy buenos resultados, la prensa hidraúlica, en la que, si es termostatizada, se puede secar las hojas con calor.

extraen de la prensa final, son colocados sobre un plano inclinado (sela del levador) o sobre estanterías. A partir de ahora las hojas se pueden manejar con las manos, pues mediante el escurrido han ganado consistencia. Este conjunto de pliegos, ya sin sayales, se llama posta blanca.

Cuando las hojas son gruesas, la posta blanca pasa al secadero, donde se separan y se dejan orear sobre una superficie plana. Luego se trasladan al tendedero para su completo secado. El tendedero suele estar en la terraza del edificio, para que las hojas se sequen al sol, y en cierta forma se blanqueen gracias a sus radiaciones<sup>1</sup>.



Fig. 9 - Mirador

En el caso de papeles muy absorbentes hasta aquí llega el proceso final, pero la mayoría de los papeles precisan ser encolados. El papel sin encolar admite lápiz, carbón, sanguina, etc., pero las tintas líquidas se emborronan<sup>2</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Cuando los papeles son mínimamente finos, pasan directamente a los tendederos, donde se colocan sobre cuerdas (tesas), sujetos con pinzas o doblados. Si los papeles gruesos se hubiesen tendido directamente sobre estas cuerdas, habrían quedado marcados por las dobleces o se habrían rasgado.

El papel fino no puede separarse en húmedo, pues se rasgaría, por esto se toma en grupos de 7 u 8 hojas (payas) que se suben y bajan de las cuerdas colocándolos en un instrumento en forma T (espito o ferlete), que puede ser largo para llegar fácilmente a las cuerdas más altas.

Algunos de estos papeles absorbentes se empleaban para impresión, en cuyo caso se fabricaban preferentemente en invierno, pues con el frío quedan más blandos, al reventar las células de sus fibras por congelación (Keim, 1966). Muchos impresores gustaban de este tipo de papel o con un (continúa...)

Para que el papel sea apto para la grafía necesita ser encolado; con el encolado aumenta la consistencia del papel y le resta absorbencia, haciéndolo suficientemente impermeable para evitar el emborronamiento de las tintas.

El método más tradicional es el <u>encolado con cola animal o gelatina,</u> mediante imprimación con brocha, o por baño. El baño de encolado se realiza en una especie de tina llamada mojador, en la que se vierte la cola caliente una vez filtrada.<sup>1</sup>

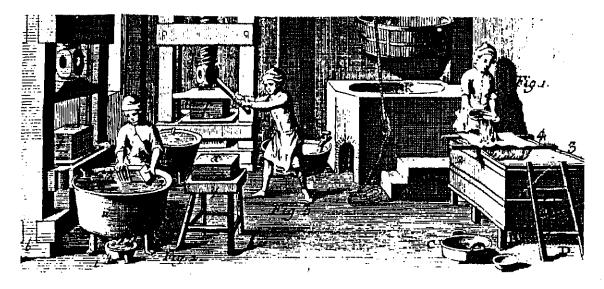


Fig. 10 - Encolado

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>(...continuación)
encolado débil, pues si el papel estaba muy encolado debían mojarlo durante más tiempo para quitarle
el apresto, ya que existía la creencia de que el papel muy encolado daba más trabajo de prensado y
gastaba los caracteres (La Lande).

l Las hojas se introducen en la gelatina en grupos de aproximadamente media docena, sujetándolas por uno de sus extremos con un listón, y se tienen sumergidas dándoles vuelta durante unos cinco minutos, hasta que quedan bien impregnadas. Muchos encoladores no realizaban esta última operación, y sin soltarlas de las regletas las sacaban inmediatamente para, en el posterior prensado, distribuir la cola por igual entre todas ellas.

Una vez impregnadas de cola, las hojas se sacan del mojador sujetándolas con las regletas, para evitar que se rompan y cuando han escurrido se vuelven a prensar, haciendo que la cola sobrante resbale sobre un canal, para volver a reutilizarla.

La intensidad y tiempo de este prensado deben ser cortos para que las hojas no se peguen entre sí, y es necesario que, con mucha rapidez, los pliegos se terminen de secar, uno a uno, en el tendedero<sup>1</sup>. Una vez completamente secas las hojas vuelven a la prensa, donde se les da un prensado final para eliminar pequeñas deformaciones del papel.

Para papeles de calidad superior es preciso un segundo encolado, esta vez mediante <u>baño de cola con alumbre</u> (sólo en papeles a partir de finales del siglo XVII -1683-).

La fase del encolado de los pliegos de papel puede eliminarse si se mezcla el encolante con la pulpa, antes de la fabricación de la hoja, (encolado en masa), de hecho los papeleros orientales empleaban con esta finalidad un adhesivo de arroz que mezclaban con las fibras, pero la cola de gelatina empleada en el mundo occidental no funciona como encolante en masa, pues se diluye en el agua.

Para paliar este problema se suele emplear, desde que lo descubrió Illing en 1806, el alumbre mezclado con colofonia. Este sistema de encolado en masa supuso un gran avance, y se extendió rápidamente, por la disminución de trabajo que suponía para el proceso de fabricación del papel. A partir del siglo XIX está tan generalizado que es difícil encontrar papeles

Es muy importante el tiempo atmosférico en el momento de encolar la hoja, si el día es húmedo se ablanda la cola y si hace calor se seca muy rápido sin penetrar en el papel, lo mismo ocurre si hace frío, pero porque se convierte en una costra, en cuyo caso también se amarillea. Lo ideal es un día seco y templado.

que carezcan de estos componentes, pero sus resultados son, a la larga, muy nocivos para el papel, ya que constituye un factor de autodestrucción. Hoy en día, para evitar este inconveniente, se están empleando con éxito algunas resinas sintéticas.

El acabado final del papel se logra con el satinado; primitivamente, el satinado se hacía frotando el papel con bruñidores de hueso o piedra (por ejemplo, ágata) sobre una placa de marmol o metal, pero este sistema quedó relegado a los papeles muy finos, pues muy rápidamente se sustituyó por el de un mazo satinador con cabeza metálica<sup>1</sup>.

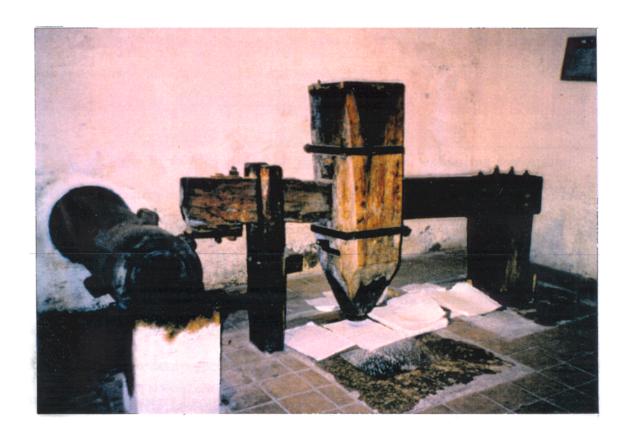


Fig. 11 - Mazo satinador (Capellades)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> En el satinado con bruñidor se solía emplear sebo de carnero, con el que se frotaba la piedra de bruñir para que se deslizara mejor por el papel, pero este uso terminó prohibiéndose, pues hacía los papeles demasiado impermeables a las tintas; solo se conservó para los naipes que, para aumentar su lustrosidad, se bruñían con grasa o con jabón (La Lande, 125).

El bruñido con mazo se realiza aprovechando la fuerza hidraúlica en su movimiento. El mazo machaca una plancha, también de metal, entre la que se interponen bloques de papel. Las hojas se barajan alternativamente hasta que todas se satinan por igual. El satinado se logra por simpatía con la plancha metálica, y sirve para cerrar los poros del papel<sup>1</sup>.

Modernamente, para el satinado se emplean tórculos, en los que se alisa el lote de hojas, haciéndolas pasar entre cilindros de acero, que transmiten fuerza, brillo, regularidad y consistencia al papel. Los cilindros del tórculo pueden separarse más o menos según el grosor del papel a satinar y el grado de satinado deseado. El satinado con tórculo o cilindros satinadores es mucho mas regular que el realizado con mazos.

Una vez satinadas las hojas se seleccionan, este es el trabajo de las triadoras o apartadoras, que lo miran al trasluz haciendo grupos según la calidad o las deficiencias<sup>2</sup>. Luego las contadoras juntan los papeles en resmas de igual calidad que se prensan, y el papel excesivamente defectuoso es apartado para convertirlo de nuevo en pasta.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Este procedimiento de satinado es muy peligroso para el operario, pues la placa metálica con el conjunto de papeles debe ser movida con las manos bajo el mazo, siguiendo el ritmo de los golpes para cambiar el bloque de hojas sin que se produzca un accidente.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Según sea el molino papelero existen diversos modos de seleccionar el papel, haciendo múltiples subdivisiones, pero la más común es la que distingue entre el papel bueno (sin defectos), el retriado (con manchas de agua, marcas de haber sido levantada alguna brizna, o pequeños defectos), el desquinado (hojas arrugadas, con grumos o manchas importantes, con agujeros etc.), el corto (más cortos por defecto de fabricación o por haber eliminado un trozo defectuoso) y el quebrado (pliegos inservibles). El papel corto empleado para envolver las resmas buenas se llama papel costero.

Finalmente se embalan las resmas (500 hojas de papel) y se ponen a la venta. En ocasiones, antes del embalado, se pasa una lija por los bordes de las resmas (desbarbado) para eliminar las barbas típicas del papel hecho a mano<sup>1</sup>.

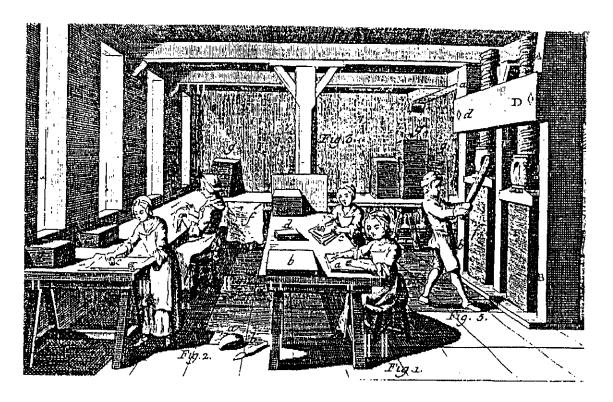


Fig. 12 - Contadoras, acabado y prensado final

La fabricación del papel a mano en la actualidad ha quedado muy reducida. Ya no existen fábricas con un número de operarios semejante al de los molinos papeleros de hace tres siglos; el proceso de fabricación está muy simplificado, y ha desaparecido la especialización de los trabajadores, ya que es raro que su número llegue a ser mayor de cinco. En una empresa donde trabajen un operario y un ayudante la producción diaria de hojas puede ser aproximadamente de doscientas.

En un molino papelero a buen funcionamiento, con el maestro sacador, el ponedor y un levador se podían fabricar unas 5.000 hojas de papel diarias. Una persona hábil podía encolar 37.000 papeles cada jornada (La Lande).

La única excepción es el mundo oriental, donde el coste de la mano de obra y de las materias primas no supone un problema. El papel asiático tiene una gran tradición y sigue manteniendo los mismos métodos de fabricación de hace varios siglos. Es un papel muy apreciado cuyas características no son fácilmente imitadas por la industria occidental.

Entre los papeles asiáticos destacan los papeles chinos, los japoneses y los de la India y Nepal. Los papeles chinos son normalmente delgados pero muy resistentes, debido a sus fibras largas, procedentes de la parte interior de la corteza de la caña de bambú. El papel japonés suele estar fabricado con la corteza interior de plantas como el moral, el kozo, el mitsumata o el gampi y puede estar ligeramente encolado en masa con harina de arroz o carecer de apresto; normalmente son papeles satinados de fibras largas y flexibles, grosor irregular y tono amarillento. Los papeles del Nepal se fabrican con la corteza del Loktha, un arbol del Himalaya, y se caracterizan por su grosor irregular, y los de India se encolan en masa y tiene como materia prima los trapos, yute, esparto, té, lana, algas o caña de azúcar.

En comparación con el resto de la industria papelera la demanda del papel a mano es muy reducida, y se limita a papeles con características especiales para artistas, por lo que en muchas ocasiones se trabaja por encargo. Es de destacar el intento de la mayoría de los fabricantes de papel artesanal de emplear materias primas de primera calidad, tanto

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> La fabricación de este tipo de papel está no sólo fomentada y protegida por los gobiernos de los propios países productores (en especial Japón) sino que también cuenta con el apoyo de las Naciones Unidas.

tradicionales como modernas, buscando la permanencia y durabilidad de la que carecen la mayoría de los papeles continuos.

Desde hace unos 25 años, cuando comenzó a resurgir la fabricación del papel a mano, la demanda ha ido en aumento, fomentada por los artistas modernos que comienzan a darle importancia a la calidad de los materiales sobre los que realizan sus obras, a la vez que demandan nuevas características y texturas, que no pueden ser satisfechas por la industria papelera convencional. La industria de papel a mano nunca volverá a ser mayoritaria, pero es evidente que cada vez su auge es mayor<sup>1</sup>.

Un ejemplo actual de fabricación de papel, con los mismos métodos y materias primas que antiguamente, se encuentra en el Molino de Capellades, en Barcelona donde, como forma de investigación y museo, se sigue fabricando papel "a la antigua usanza" y se vende para la realización de obras de primera calidad (Valls, 1972). Los antecedentes de este molino alcanzan hasta el año 1238 y parece que fue la única fábrica de papel a mano que quedó en España después de la década de los 30, cuando todas las demás cerraron por la competencia del papel continuo.

## 2.2. EL PAPEL CONTINUO

El papel continuo se remonta a finales del siglo XVIII, cuando aparecen los primeros sistemas mecanizados de formación de la hoja de papel. Recibe el nombre de papel continuo porque el principio básico de la maquinaria es una cinta sin fin sobre la que se deposita la pulpa, de modo que no se obtienen hojas sueltas, como en la fabricación del papel a mano, sino largas tiras de este material.

La primera "máquina de hacer papel", base de la maquinaria actual de la industria papelera, fue patentada por Nicolas Louis Robert en 1799 (Keim, 1966, 119 ss.) con el nombre de "máquina sacudidora de papel". En España las primeras fábricas de papel continuo se instalaron en Villanueva del Gallego (Aragón) a principios del siglo XIX y en Manzanares del Real en 1840 (Gayoso, 1967, 78) siempre con recelos por parte de la Administración, que no veía con buenos ojos la sustitución de un tipo de papel por otro<sup>1</sup>.

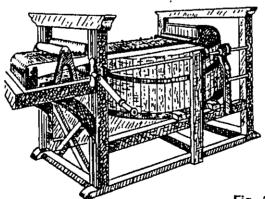


Fig. 13 - Máquina de Robert

Debido a la preocupación por la calidad del papel empleado en los documentos oficiales, la Administración fue prohibiendo, apartir de 1846, mediante Reales Ordenes, el uso del papel continuo, ordenando a su vez el empleo de "papel de hilo corto" (Espasa Calpe., Vide "Papel. Adm.").

La máquina de Robert, llamada comúnmente "máquina plana", fue perfeccionándose poco a poco. En principio consistía, simplemente, en una banda de tela sin fin de aproximadamente 1'50 cms. de largo por 40 cms. de ancho, que giraba entre dos rodillos, uno de los cuales tenía una manivela que se accionaba manualmente, de modo que al girar el rodillo, movía la cinta con un movimiento de vaivén.

La pulpa la vertía un operario desde una tina al comienzo de la cinta transportadora, ésta disponía a los lados de una cinta elástica de piel de anguila que impedía que la pulpa se derramase por los laterales. Una regleta enrasaba la pasta al inicio del recorrido y unos rodillos, al final de la cinta, aplastaban la pulpa y hacían que el agua escurriese. La tira de papel húmedo que salía de la máquina se colocaba en colgadores y luego se enrollaba en bobinas que alcanzaban hasta 15 metros, pero posteriormente debía ser desenrollada, cortada, secada, encolada y alisada.

La fabricación de papel con la máquina plana de Robert era un trabajo irregular y lento en comparación a los actuales sistemas, pero supuso la base para la moderna maquinaria de la industria papelera, y un gran avance en su tiempo, pues todo el trabajo se lograba con sólo dos trabajadores no cualificados.

La máquina de Robert fue alcanzando una perfección paulatina, él mismo añadió un sistema de distribución de la pasta por medio de una noria que la elevaba desde la tina a la cinta transportadora, pudiéndose prescindir así de uno de los dos operarios. Poco después Bryan Donkin añadió otras importantes mejoras, como un motor para accionar mecánicamente el movimiento de la cinta transportadora, con sacudidas regulares, mejorando así la distribución de la pasta, unas guías desplazables que sustituían los laterales fijos de la máquina -con la que ahora se podían obtener papeles de distintos anchos-, secado mediante instalación de prensa húmeda, secado total por enrollado en aspa, y cilindros secadores como perfeccionamiento de los sistemas anteriores de secado. Como los constructores de esta

máquina perfeccionada por Donkin fueron los hermanos Fourdrinier, la máquina plana, o de Robert, también recibe el nombre de "máquina Fourdrinier".

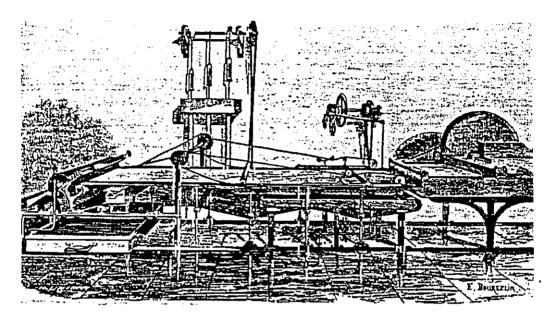


Fig. 14 - Máquina Donkin

El grosor del papel fabricado se puede regular fácilmente graduando la distancia entre los dos rodillos secadores, por lo que se pueden fabricar cartones o cartulinas directamente, y no como se hacía antes por medio de la superposición de capas de papel fino (cartón árabe). Esta máquina es la que, con modificaciones y tamaño mucho mayor, se emplea en la industria papelera actual; con ella se logra un acabado mucho más perfecto, con la adición de cilindros alisadores y satinadores.

Una variante de la máquina de Robert fue la "máquina redonda" de Bramah (1805), que sustituía la noria de transporte de la pulpa por un tambor colocado dentro de la tina y pegado a la cinta transportadora. El tambor está cubierto con una fina tela metálica o tamiz, y al girar dentro de la tina con

pulpa la absorbe sobre su superficie, transmitiéndola a la cinta; actualmente se hace el vacío en este tambor para que recoga la pasta con más efectividad. El papel realizado en la máquina redonda suele ser menos uniforme que el obtenido en la máquina plana, pero este inconveniente se puede solventar haciendo fluir la pasta en dirección opuesta a la rotación del molde.

Este sistema se usa para producir bastante cartón y muchas de las cartulinas empleadas para dibujo y pintura (cartulinas bristol y de hilo), pues incluyendo varios cilindros se pueden superponer distintas de material (normalmente de distinta calidad, según se trate o no de hasta interiores) capas conseguir un grosor considerable.

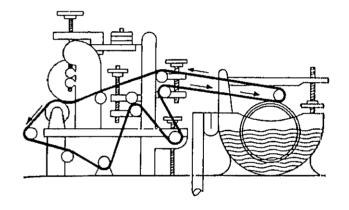


Fig. 15 - Máquina redonda

Otra característica importante de esta máquina es que el tambor se puede dividir mediante alambres según el formato de las hojas, de modo que pueden obtenerse éstas directamente y no en una tira continua; en este caso el papel es aparentemente como el hecho a mano, pues, además de su aspecto barbado, puede imitar la verjura mediante un rodillo

"afiligranador" que deja sus marcas durante la formación del papel. Esta máquina se sigue empleando actualmente para fabricar cartulinas y papeles de calidad que imitan el papel artesanal.

Hoy en día la manufactura del papel comienza con unas operaciones previas, como el desintegrado de la pasta papelera para preparar una suspensión de fibras en agua y mezclarlas convenientemente. La suspensión de fibras, una vez refinadas, purificadas y mezcladas, pasa a la tina de máquina de donde se extrae con elevadores o por bombeo hasta la caja de mezcla de pasta; allí se diluye con agua en una concentración entre el 0'01 y el 1%. Tanto en la tina de máquina como en la caja de pasta la pulpa se agita con unas paletas constantemente para evitar que se sedimente.

Desde la caja de mezcla la pulpa se bombea al arenero, conjunto de cajas de sedimentación o colectores, donde se eliminan cuerpos extraños de mayor peso, como la arena; actualmente los areneros se están sustituyendo por centrifugadores de pasta, como el depurador centrífugo.

Del arenero o del centrifugador se pasa al depurador, que consiste en un tambor de bronce con rendijas muy finas por entre las que sale la pasta, dejando en su interior las fibras gruesas. En lugar de este sistema de separación, se pueden emplear clasificadores vibrantes o depuradores que actúan a presión.

Es muy importante que la densidad de la pasta quede muy bien regulada en la caja, pues de ello depende la uniformidad del gramaje del papel. La regulación de la mezcla del agua con la pasta puede hacerse a mano, pero normalmente se emplean reguladores automáticos.

Del depurador la pulpa se dirige a la caja de entrada, desde donde se verterá, con una velocidad controlada, sobre la tela continua donde se forma la tira de papel<sup>1</sup>.

Las actuales máquinas de fabricar papel agrupan sus operaciones en tres tipos de procesos: primero se consigue la sedimentación de las fibras en forma de lámina húmeda en la mesa de fabricación (Fig. 16-1), después se elimina parte del agua mediante presión (presión húmeda) en la sección de prensas (Fig. 16-2), consiguiendo un lámina más compacta al haber comprimido sus fibras, y por último, en la batería de secadores, se termina de secar progresivamente el papel con calor (Fig. 16-3) y se le dota del acabado final (Fig. 16-4).

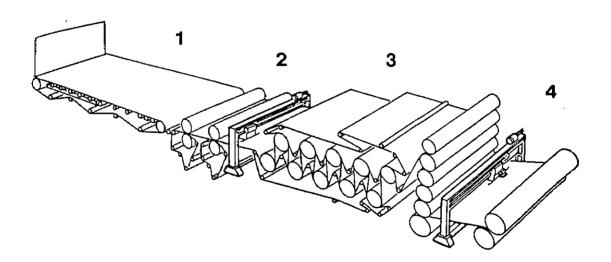


Fig. 16 - Esquema de una máquina de papel

Antes de la formación de la hoja de papel se pueden añadir a la pasta encolantes, colorantes y otros materiales no fibrosos, como cargas de relleno, que serán estudiados más adelante.

Según el papel fabricado, la variación de este tipo de maquinaria puede ser considerable, pero se intentará describir un modelo ideal que abarque la mayoría de los procesos más comunes.

Normalmente, la suspensión de fibras diluidas en agua se vierte a través de la caja de cabeza de máquina a la tela transportadora o móvil, que forma una superficie plana vibratoria de unos 15 a 42 metros de largo<sup>1</sup>. Con las vibraciones se logra entrelazar y mezclar las fibras entre sí, aunque en las máquinas de alta velocidad, el sacudimiento de la tela no es eficaz y se elimina<sup>2</sup>.

Una vez depositada la pulpa sobre la cinta aquella comienza a escurrirse, y se desprende de gran cantidad de agua que arrastra consigo algunas fibras excesivamente cortas<sup>3</sup>. Para potenciar la pérdida de agua de la pulpa, bajo la cinta transportadora se colocan rodillos desgotadores que, a la vez que la sostienen, absorben el agua que pasa entre sus mallas. Un sistema mucho más eficaz que el de los rodillos desgotadores es su sustitución por reglas rascadoras, que colocadas bajo la tela formando un ángulo agudo, eliminan el agua que gotea por la cinta. Tras los rodillos desgotadores o las reglas rascadoras se encuentran, bajo la tela, las cajas

La tela transportadora está formada por una tira de malla metálica de hilos de cobre, unida por sus extremos y tensada alrededor de unos rodillos que giran en su interior. Los laterales de la cinta están protegidos con unas reglas o correas de goma que impiden que la pulpa se desparrame por los bordes.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> En términos generales, el espesor del papel se regula por la velocidad de la cinta transportadora sobre la que se vierte la pulpa, por la consistencia de la suspensión y por la cantidad de pasta que fluye por la tolva.

Toda el agua que escurre entre la tela metálica se llama agua blanca, pues arrastra consigo fibras y sustancias añadidas a la pasta papelera; generalmente este agua se mantiene en un circuito cerrado y se usa posteriormente, aprovechando las fibras que lleva desleidas, reduciendo la contaminación ambiental.

aspirantes, que constan de una bomba de vacío que absorbe el agua y fija la pasta a la cinta<sup>4</sup>.

Al final de la cinta, o entre las cajas de aspiración, se encuentra un primer rodillo superior, de fino tejido de bronce, llamado rodillo desgotador mataespumas; pasa sobre la pulpa e iguala la superficie de la cara superior con la inferior, escurriendo la pasta. Este rodillo puede marcar en el papel una filigrana y un verjurado, llamándose en este caso "rodillo afiligranador".

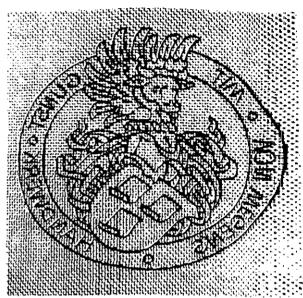


Fig. 17 - Filigrana del rodillo desgotador

Tras esta etapa, en la cual se ha formado una lámina por sedimentación de la pulpa, la tela llega a la prensa manchón, formada por dos rodillos afieltrados superpuestos, uno de ellos elástico, que expulsan el agua de la hoja, dotándola de la suficiente consistencia para que continúe su camino sin necesidad de la tela transportadora, aunque todavía necesitará pasar desde ésta a un fieltro de lana, que la conducirá al conjunto de prensas húmedas<sup>2</sup>.

Existe otro modelo de máquina donde la hoja se forma entre dos tamices de tela met**álica** en movimiento, de modo que el agua se elimina a la vez por las dos caras (Browning, 1970).

Modernamente, la prensa manchón está siendo sustituida por los cilindros aspirantes, mediante los cuales se elimina el agua del papel, que es absorbida por unas bombas de aire situadas un su interior gracias a unos dispositivos que provocan el vacío. El papel queda, tras este proceso, con un 75 u 80% de agua.

Antes de finalizar el recorrido de la pulpa sobre la tela, se recortan los laterales mediante unos tubos rociadores, que proyectan un chorro de agua sobre los bordes, cortándolos.

La hoja que se está formando adquiere unas características distintas en cada uno de sus lados, según haya estado en contacto o no con la superficie de la tela de la máquina. El lado que ha estado sobre la tela se llama cara tela o inferior (reverso), el otro cara superior, fieltro o manchón (anverso), pues en su fabricación con lo primero que entra en contacto es con el fieltro del rodillo superior de las prensas de manchón.

La cara fieltro será más uniforme y blanda que la cara tela; esto influye en el comportamiento de los materiales que se le adicionan a la pasta; suele tener mejor encolado, mayor proporción de carga y un teñido más intenso en el caso de los papeles coloreados. Este lado suele ser el mejor para la impresión, aunque para offset se prefiere la cara tela. Cuanto más gramaje tenga un papel y esté más encolado y satinado menor será la diferencia entre ambas caras<sup>1</sup>.

La tela de máquina, tras pasar por la prensa manchón o el cilindro aspirante, vuelve al punto de partida, limpiándose de los restos de pulpa que han quedado depositados sobre ella con agua pulverizada a presión.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> El lado tela se puede distinguir del lado fieltro observando el papel con una luz de 45° o con una lupa; suelen apreciarse marcas romboidales en la cara tela. Sumergiendo previamente el papel en una solución débil de hidróxido sódico se hacen más evidentes estas marcas. Para mayor información véase UNE 57.056-74: "Determinación de la cara tela y la cara fieltro".

La lámina de pulpa deja la tela transportadora y es recogida por un fieltro que la conduce a las prensas húmedas, donde se elimina el agua mediante presión sin calor. Estas constan de dos o tres series de pares de rodillos en los que el superior es de metal bruñido o piedra, para alisar, y los inferiores de goma<sup>1</sup>.

El papel pasa entre los rodillos de las prensas húmedas a una gran presión, por lo que además de secarse por absorción (mantiene sólo un 65 - 60% de agua), gana en densidad, queda más compacto y con una superficie más regular.

El último paso es el secado total mediante calor, se consigue haciendo que el agua se evapore, gracias a los cilindros secadores (cilindros de fundición pulidos), calentados en su interior con vapor a presión; la temperatura de los rodillos va en ascenso, desde un máximo de 82°C del primero hasta 115° que pueden llegar a alcanzar los últimos².

Los rodillos le dan a la hoja cierto brillo, que puede aumentar con los cilindros alisadores y la calandria. Se emplean distinto número de cilindros secadores (en ocasiones más de 30), de diferente clase y con diversa presión,

l La hoja es transportada y presionada sobre los rodillos, con fieltros que recogen la humedad. Estos fieltros deben ser de un material muy poroso que no deje huellas sobre el papel, su tejido depende del tipo de papel que se desea fabricar y del lugar en que se encuentran dentro del proceso de secado; suelen ser de lana, pero también los hay de algodón y fibras sintéticas. Para el secado de los fieltros, son necesarios unos mecanismos complementarios, los cilindros secadores de fieltro, que se colocan por encima y debajo del fieltro en su retorno evitando que vuelva la humedad recogida al papel.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Los fieltros que se encuentran en esta zona de secado deben aguantar las altas temperaturas y ser muy permeables, de lo contrario provocarían la condensación del vapor en su superficie, alterando el acabado del papel. Son comunes los fieltros de lana o los de algodón, mezclados con fibras sintéticas.

según el tipo de papel que se desee fabricar. El papel, una vez finalizado el proceso, suele retener un mínimo del 8% de humedad.

Cuando la hoja sale del último cilindro secador pasa entre los rodillos alisadores, unos rodillos metálicos muy pesados que alisan el papel con alta presión. Para lograr un papel fuertemente alisado en máquina se pasa por una lisa húmeda, que se encuentra en el último tercio de los rodillos alisadores, porque para un acabado adecuado el papel debe tener un 15% de humedad<sup>1</sup>.

Cuando se desea un alto grado de lisura no basta con el alisado de máquina, es necesario un satinado, que se logra con la lisa seca o calandria. Este mecanismo puede formar parte de la máquina de papel continuo, pero en papeles de buena calidad se prefiere el acondicionamiento previo del papel, hasta lograr un grado óptimo de humedad, por lo que se necesita una calandria independiente (también existen calandrias para satinar hojas de papel sueltas).

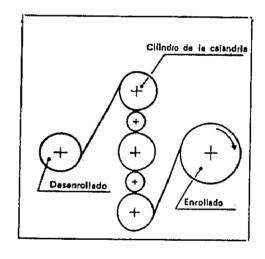


Fig. 18 - Calandrado

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Tras finalizar el paso por la batería de secadores, el papel pasa por uno o más cilindros refrigeradores, que enfrían el papel y aminoran la posibilidad de formación de arrugas durante un posterior satinado o en el enrollado. Los cilindros refrigeradores se caracterizan por contener agua fría en su interior, algunas veces este enfriado se complementa haciendo pasar el papel entre el cilindro refrigerador y un fieltro húmedo.

La calandria está formada por varios rodillos pulidos superpuestos, normalmente entre 9 y 11, llegando hasta 18, que terminan de abrillantar y alisar ambas caras de la hoja, una vez enfriado el papel<sup>1</sup>.

El grado de lisura del papel depende del número de rodillos con que se calandre el papel y de la presión que se ejerza entre ellos. Los tipos de papel según su grado de lisura son el satinado mate (alisado), el ligero (satinado), el normal (calandrado) y el fuerte (supercalandrado); este último se consigue haciendo pasar dos veces al papel por la calandria.

Cuando se quiere obtener un satinado especial se emplean las calandrias de fricción, en ellas se logra un alto brillo por el rozamiento de los rodillos entre sí<sup>2</sup>.

Tras los diversos sistemas de alisado, la tira de papel pasa a la cortadora, donde se divide a lo largo, según los distintos formatos, por medio de discos de acero llamados cortadores de plato. Finalmente, el papel se rebobina, a no ser que se haya cortado también transversalmente en forma de pliegos.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> En la batería de rodillos que constituyen la calandria se alternan rodillos de acero y de papel o algodón, pero en la mitad del recorrido se colocan dos rodillos seguidos blandos (rodillos gemelos), para que la cara del papel en contacto con los rodillos duros no sea siempre la misma. De no ser así sólo se puliría una de las caras, pues la parte de la hoja satinada es aquella que queda en contacto con el cilindro de acero.

Las calandrias de fricción suelen tener dos rodillos de acero y uno de papel que se coloca entre ambos; el rodillo superior de acero se calienta con vapor y gira a una velocidad mucho mayor que el inferior, el rodillo de papel no tiene movimiento propio y la fricción provocada por la diferencia de velocidad de los rodillos junto a la alta presión es lo que da lugar a un brillo intenso en papeles ligeramente húmedos.

El tipo de alisado al que ha sido sometido el papel influirá en sus características, más o menos aptas para determinadas técnicas pictóricas. Los papeles pueden quedar sin prensar o satinar, obteniéndose un papel áspero y rugoso, de grano muy marcado; pueden prensarse sólo en húmedo (prensado en frio, "C.P." o "no"), para obtener superficies semi-ásperas, o prensarse en caliente, con mayor o menor uso de calandrias, para papeles muy lisos (satinado o "H.P."). Con el satinado se mejora considerablemente la lisura, densidad y brillo del papel<sup>1</sup>.

Durante la fabricación del papel, pueden incluirse diversos mecanismos que añaden a la hoja en formación determinados revestimientos superficiales; por ejemplo, encolado superficial, colorantes, estucados, etc. Estos mecanismos pueden formar parte de la máquina continua, o ser otras máquinas en las que se introducen las bobinas de papel<sup>2</sup>.

El encolado superficial se realiza mediante prensas encoladoras, constituidas por dos rodillos que se sitúan entre las prensas de secado y embadurnan ligeramente la superficie del papel ("size press"). También puede realizarse en una máquina en la que se aplica la cola sobre la tira de papel húmedo por inmersión<sup>3</sup>.

Se pueden conseguir papeles con brillo o satinado por una sola cara, cuando sólo una de éstas ha estado en contacto con los cilindros secadores pulidos.

Aunque resulte más caro, para obtener una calidad satisfactoria se suele preferir este último sistema, pues la mayoría de estos procesos requiere una velocidad distinta a la de la fabricación del papel, y aunque la adaptación a esta velocidad es posible, suele ser a costa de hacer concesiones y reformas sobre el proceso ideal de manufactura.

En este caso se emplea una cubeta especial, que suele mantener constante la temperatura de la cola. La tira de papel se sumerge a unos 30 cm, después se desarruga con un rodillo; el exceso de (continúa...)

La aplicación del color puede hacerse de una manera similar al encolado por inmersión, pero suele ser mucho más común emplear un revestidor de rodillos; existen modelos, como el revestidor de moldeo, que también seca y bruñe el papel haciendo innecesario el paso posterior de la hoja por la calandria.

Hay varios modelos para el revestimiento de color en la máquina de papel, estos revestidores pueden ir en la sección del secado, al final de ésta, actuando sobre el papel seco, o antes de iniciar el secado, con el papel en húmedo. Para el secado del color pueden emplearse secadores adicionales con calor o radiaciones infrarrojas.

En el modelo Massey un rodillo alterna el contacto entre la fuente de color (parecida a la de una prensa tipográfica) y el primero de varios rodillos distribuidores, que van pasándose entre sí el tinte hasta que llega al cilindro aplicador que lo distribuye sobre el papel. Un mecanismo paralelo hace que el papel quede coloreado por ambas caras.

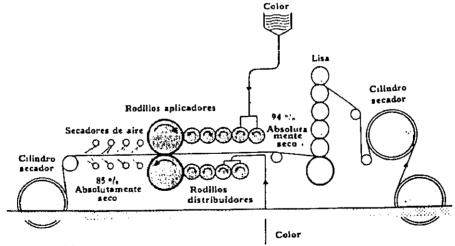


Fig. 19 - Sistema Massey

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>(...continuación)
cola se elimina haciendo pasar el papel encolado entre dos rodillos a modo de prensa, el superior está
recubierto de goma y el inferior de cobre. El papel se enrolla en húmedo para potenciar la absorción
de la cola y posteriormente se desenrolla y se seca con un sistema similar al de la máquina de papel
continuo o sobre aparatos tendedores.

En el método de revestimiento offset-rotograbado, el rodillo que recoge el colorante tiene grabados en la superficie de metal; estos se llenan con el color y el exceso se aparta con una cuchilla sobre la que gira el rodillo, de ahí pasa al rodillo de aplicación que es de caucho.

También se puede aplicar el color por exceso sobre el papel húmedo, poniéndolo directamente en contacto con un cilindro inmerso en el color, y eliminando el sobrante, haciendo pasar una rasqueta sobre el papel, que hace retornar el sobrante al depósito. Con este método sólo se puede colorear una cara de la hoja.

Un último sistema, para colorear una sola cara, es mediante pulverización sobre el papel seco. La pulverización la provoca un rodillo estriado que gira a gran velocidad cerca del papel y que está en contacto con otros rodillos distribuidores del color.

El revestimiento del papel con materiales orgánicos (ceras, soluciones gomorresinosas, barnices, etc.) no se puede realizar en la máquina de hacer papel, por lo que el coste de las hojas suele encarecerse más que en el caso de la aplicación de revestimentos inorgánicos.

Las máquinas empleadas para revestir el papel continuo son de muy diversos tipos según el revestimiento, pero en general se basan en los mismos principios que las descritas para la aplicación del color<sup>1</sup>.

El modelo más empleado suele ser la máquina para revestir hojas, que realiza el revestimiento en hojas de papel al hacerlas pasar entre dos rodillos y ponerlas en contacto, por una de sus caras, con el rodillo aplicador que gira dentro del depósito donde se encuentra el revestimiento.

El estucado del papel se puede hacer en máquinas donde el papel se desenrolla, recibe el estuco, se seca y se enrolla. La aplicación del estucado pueden ser con rodillos, con rasquetas o con aire <sup>1</sup>.

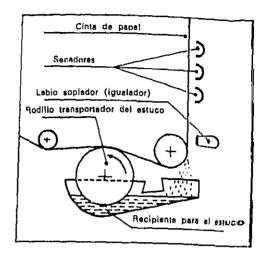


Fig. 20 - Estucado

Las actuales máquinas para fabricar papel son cada día más complejas y de dimensiones mayores (su anchura ha ido aumentando a un ritmo de un metro y medio cada 10 años). Las máquinas mayores pueden medir 10,5 m. de ancho por 100 m. de largo y fabricar 1.100 metros de papel por minuto (Xucla, 1982).

En este último caso un rodillo inmerso en el depósito con la pasta de estucar aplica el estuco sobre el papel, y un chorro de aire iguala la superficie eliminando el estuco sobrante. En el estucado con cepillos o con rodillos se sumerge el papel en el depósito de la masa de estucar, y el estucado se iguala posteriormente con otro sistema de rodillos.

Si se desea el estucado por una cara, se puede emplear la máquina de rodillos y cepillos, que consiste en un conjunto con un rodillo aplicador, como los descritos en el caso de la aplicación del color, y un sistema de cepillos para dar uniformidad a la superficie una vez seca.

## 2. 3. DIFERENCIAS ENTRE EL PAPEL A MANO Y EL PAPEL CONTINUO

A lo largo de los dos apartados anteriores se ha podido evidenciar que la forma de fabricación de un papel a mano (artesanal) y un papel continuo (industrial) es radicalmente distinta e influye primordialmente en las características del resultado y costes de la producción.

También se ha podido ver como muchas de las características que identifican exteriormente el papel pueden ser engañosas, o pueden "falsificarse" con suma facilidad.

Es importante que el artista conozca las cualidades de ambos tipos de papeles, para poder valorar las ventajas que le puede reportar cada uno, sobre todo teniendo en cuenta la gran diferencia de precios que lógicamente conlleva. También es necesario que sepa cómo diferenciarlos entre sí, para evitar confundir un papel realizado industrialmente con otro artesanal.

Desde el punto de vista de la calidad del papel, entendido como material estable, de alta permanencia y durabilidad, no existe preferencia entre un papel artesanal y otro industrial; lo que realmente resulta determinante son las materias primas empleadas.

Precisamente por los altos costes del papel hecho a mano, la mayoría de los papeles artesanales resultan un auténtico lujo, aunque suelen estar fabricados con materiales de primera calidad. Pero es importante no confundir el método de fabricación de la hoja con las materias primas empleadas, pues se encuentran en el mercado papeles continuos que pueden haber sido fabricados con los mismos componentes que un papel a mano, y viceversa.

La ventaja primordial que puede reportarle a un artista el empleo de un papel a mano radica en la posibilidad de encargar papeles según sus gustos o necesidades, ya que la industria papelera no atiende esta demanda minoritaria de intereses puntuales.

Sin embargo, es claro que la industria artesanal no puede lograr los acabados y la regularidad de los papeles industriales, por lo que según el uso al que vaya a ser destinado, el papel de tina puede ser inconveniente. Un papel artesanal no puede conseguir algunas de las características que se logran industrialmente (por ejemplo, papeles muy satinados y poco absorbentes), aunque éstas no tienen porqué ser las cualidades necesarias para determinadas técnicas de dibujo o impresión. Al contrario, el aspecto externo de un papel artesanal, y todas sus características, excepto la dirección de fibras, pueden ser logradas con métodos o técnicas industriales.

La principal diferencia entre el papel manual y el continuo es la dirección de las fibras (isotropía). En la máquina de fabricar papel la tela metálica sobre la que se deposita la pulpa circula a gran velocidad, por lo que las fibras tienden a orientarse en dirección del movimiento, es decir, adoptan un sentido longitudinal al movimiento de la tela transportadora sobre la que han sido vertidas.

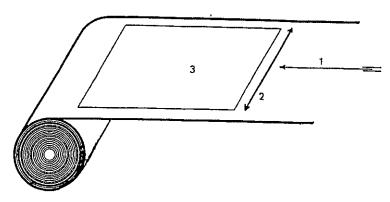


Fig. 21 - Sentido de fabricación:

1, dirección longitudinal; 2, sentido transversal; 3, formato de hoja.

Los papeles a mano carecen de esta característica, pues el movimiento de extracción de la formadora de la tina es ascendente junto a un ligero zarandeo, que distribuye las fibras en todas los sentidos, produciendo el afieltramiento sin que exista un alineamiento preferencial. Esta circunstancia es la responsable de que el papel hecho a mano tenga un comportamiento idéntico en todas las direcciones.

La peculiar disposición de las fibras en el papel fabricado a máquina tiene dos consecuencias fundamentales: la dilatación del papel continuo en una dirección preferente y la diferente resistencia según el sentido de las fibras (en dirección transversal menor en el caso del desgarro y mayor para la tracción, estallido y doble pliegue).

las fibras celulósicas que componen el papel son un material muy higroscópico, tienden a tomar o perder agua según la humedad ambiental. Las fibras, al absorber agua u otro líquido polar, se dilatan y aumentan su volumen a lo ancho (normalmente un 10% de la anchura de su diámetro), por lo que en un papel donde las fibras adopten una dirección determinada se producirá una dilatación en el sentido inverso a ésta cuando haya un aumento de humedad en el ambiente. Un papel se dilatará a lo ancho si sus fibras están dispuestas longitudinalmente.

El papel artesanal, al carecer de dirección de fibras, ante un aumento de humedad se dilata por igual en todas sus direcciones. Esta cualidad puede ser importante, sobre todo cuando se trabaja con papeles porosos de fibras largas, de especial uso en determinadas técnicas artísticas (aguadas), que son los más propensos a la dilatación. Mientras que un papel continuo al dilatarse forma arrugas transversales, uno hecho a mano se dilata más uniformemente y provocando un menor alabeamiento!

No hay que confundir la dilatación de las fibras en todos los sentidos con la estabilidad dimensional del papel, muy buscada para trabajos donde es necesaria una gran precisión (por ejemplo planos). Aunque el papel sin dirección de fibras aminora los problemas de variación dimensional<sup>2</sup>, también se dilata. Para evitar la dilatación lo que se precisa es disminuir la higroscopicidad de las fibras; esto se gonsigue modernamente con el empleo de fibras sintéticas, cuyo poder de dilatación en húmedo es nulo.

Gerard Martin (1965, 39) sostiene que las variaciones dimensionales del papel continuo no se deben tanto al hinchamiento de las fibras, que quedaría compensado disminuyendo la porosidad del papel, como al estiramiento que provoca la tensión a la que ha estado sometida la hoja durante el bobinado -el papel es un material muy poroso, que puede contener hasta un 60% de aire, un aumento del volumen de sus fibras simplemente disminuiría los poros por lo que no variarían las dimensiones de la hoja-. El secado y alisado rápido bloquea las fibras en una posición que no corresponde a su tendencia natural, y cuando aumenta la humedad, las fibras tienden a relajarse de la tensión sometida orientándose en la dirección opuesta a la formación de la hoja. Esto explica la eficacia de la práctica de muchos papeleros que, cuando buscan un papel de dilatación mínima, lo desbobinan, lo dejan reposar en un ambiente húmedo y vuelven a bobinarlo.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> La superior estabilidad dimensional en el caso del papel a mano frente al papel continuo es debida al sistema de secado tradicional (al aire) que deja que las fibras se contraigan libremente al perder humedad de forma paulatina (Rabal, 1994, 52), al contrario de lo que ocurre en el papel continuo, que es sometido a una gran fuerza de tracción durante el secado.

La resistencia a la tracción diferenciada según el sentido de las fibras en un papel continuo, se debe a la mayor dificultad para romper las fibras que para separar, a lo largo, varias unidas entre sí. Si tiramos desde lados opuestos de un papel, será más dificil romperlo si la fuerza se realiza en la misma dirección de las fibras que en la opuesta.

La elasticidad del papel también varía en este sentido, el alargamiento de rotura ("estiramiento" del papel antes de romperse) es mayor cuando se rompe un papel transversalmente (en sentido opuesto a la fibras) que longitudinalmente.

Si se quiere comprobar si un papel es continuo o está hecho a mano, la manera más segura es averiguar si tiene dirección de fibras<sup>1</sup>. Todas sus demás características externas pueden ser imitadas con mayor o menor acierto.

Un papel hecho a mano se caracteriza por tener un acabado bastante irregular, sobre todo en lo que respecta al grosor, pero esta característica, en la actualidad, puede depender del esmero con que haya sido fabricada y prensada la hoja y el grado de refino de la pasta papelera empleada.

La verjura (corondeles y puntizones) junto con la filigrana, es la marca visible que popularmente identifica el papel hecho a mano, tanto que el

La dirección preferencial de fibras de los papeles continuos se puede disminuir durante el proceso de fabricación -aunque no eliminar-, manteniendo la caida de la pasta papelera sobre la cinta transportadora a un riymo casi igual al de ésta, y agitando al máximo la cinta en dirección transversal, para contrarrestar el movimiento longitudinal.

término papel verjurado se suele emplear (incorrectamente) como sinónimo; sin embargo, ya se vió como existen papeles hechos a mano que no tienen filigrana (por ejemplo, todo papel anterior a 1282) ni verjura ( por ejemplo el papel vitela), y como estos elementos se pueden imitar en el papel continuo con el rodillo afiligranador durante la fabricación del papel.

Cuando la filigrana se logra en la tela transportadora por un rodillo se llama filigrana al agua, legítima o natural, y puede ser clara (si la marca se suelda al rodillo) u oscura (si en el rodillo aparece en hueco). Pero estas marcas, además de con la huella de cilindros, también pueden lograrse con diferentes sistemas: haciendo pasar el papel entre un rodillo de goma dura contra otro de acero grabado (filigrana a la goma o similfiligrana), empleando una calandria o con una plancha grabada sobre el papel ya fabricado (falsa filigrana o filigrana artificial) o imprimiendo la filigrana con una grasa especial (filigrana impresa).

Los tipos filigranas se identifican fácilmente; las impresas desaparecen o se debilitan con disolventes como el éter, el alcohol o el benceno, las naturales también se distinguen de las artificiales pues las primeras se reavivan con la sosa caústica (Navarro, 1967, 31). En algunos casos también se puede comprobar la veracidad del verjurado o de la filigrana mediante iluminación ultravioleta, pero la verjura de un papel hecho a mano suele evidenciarse al trasluz: las zonas del papel más cercanas a los corondeles son generalmente más opacas que las que se encuentran entre ellos, debido al amontonamiento de la pasta papelera a los bordes del desnivel ocasionado por el corondel en el proceso de extraer la formadora de la tina de abajo hacia arriba. Cuando los corondeles son muy finos no aparece este efecto, cosa que puede dar lugar a confusión.

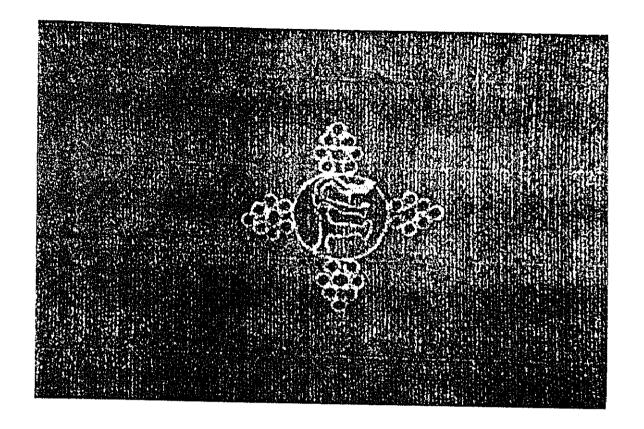


Fig. 22 - Marca de verjura con acumulación de pasta entre los corondeles (Fot. con iluminación transmitida).

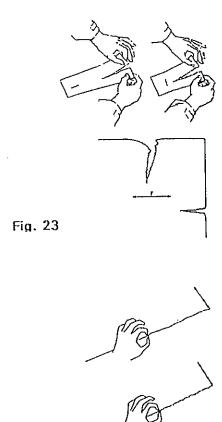
Otra característica que se tiene como propia del papel de tina son las barbas (papel barbado), pero además de que el papel a mano puede haber sido desbarbado o guillotinado, se pueden lograr hojas de papel continuo barbadas mediante la máquina redonda de Bramah, descrita anteriormente, o disparando un chorro de agua sobre los bordes de la cinta transportadora en la máquina plana.

A no ser que se tenga muchísima experiencia, y en muchas ocasiones ni aún así, la única manera fiable de determinar si un papel es o no continuo es mediante el análisis de la dirección de sus fibras.

El análisis de la dirección de fibras puede evidenciarse con lupas potentes o, mejor aún, con aparatos de ensayo que analizan las características físico-mecánicas del papel, pero también existen métodos asequibles en cualquier momento (métodos descritos en la norma UNE 57-043-74: "Determinación de la dirección longitudinal").

Puede rasgarse una hoja de papel en ambos sentidos (Fig. 23), y si uno de ellos ofrece más resistencia o el desgarro tiende a facilidad, mayor torcerse con indicando el sentido opuesto a la dirección de las fibras. Si no queremos realizar una puede estirar prueba destructiva, se cuidadosamente con las uñas de los dedos índice y pulgar los bordes de una esquina (Fig. 24); si uno de ellos tiende a ondularse en mayor grado que el otro indicará que las fibras se disponen perpendicularmente a él.

Mucho más claramente se evidencia si tomamos dos tiras de igual anchura y longitud de un mismo papel, pero cada una cortada en sentido distinto (Fig. 25). Sujetándolas perpendicularmente y manteniéndolas paralelas entre sí, podremos ver si al soltar una de ellas se curva mucho



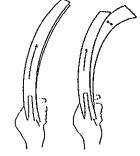


Fig. 25

Fig. 24

más que la otra, que tiende a quedarse recta; en este caso la dirección de las fibras es la misma que la de esta última tira de papel.

Humedeciendo un trozo de papel cuadrado y midiendo la dilatación sufrida en cada uno de los lados también podremos averiguar si hay una dirección de fibras preferente: éstas irán perpendiculares al lado que haya aumentado más de longitud. Si simplemente se pulveriza un papel también se podrá ver cómo tiende a enrollarse en el sentido de la dirección de sus fibras (Fig. 26), si es que se trata de un papel continuo.

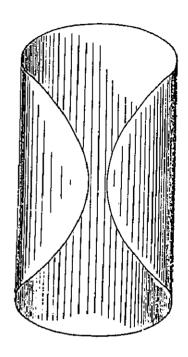


Fig. 26 Dirección de fibras (dilatación)

Los aparatos de precisión que permiten identificar indirectamente la dirección de fibras de un papel son el desgarrómetro, el dinamómetro y el plegámetro (Navarro, 1972)<sup>1</sup>.

Todos estos aparatos miden la resistencia del papel: el desgarrómetro simula la acción de rotura por desgarro, y mide la fuerza necesaria para iniciar y continuar la rotura de un papel; el dinamómetro simula la rotura por estiramiento, y mide la rotura por tracción y el estiramiento del papel antes de romperse; el plegámetro simula el doblado continuo en 180° ó 360°, y mide el número de dobleces necesarios para romper un papel. Como todas las medidas que registran estos instrumentos de precisión varían según la dirección de fibras del papel, también sirven para determinar en qué grado las fibras están más o menos alineadas, asegurando que un papel está hecho a mano si no existe diferencia de resultados entre muestras perpendiculares de un mismo papel.

La definición del papel según terminología papelera: "Hoja constituida esencialmente por fibras celulósicas de origen natural, afieltradas y entrelazadas" (UNE 57.003-78)<sup>1</sup>, indica claramente que son las fibras vegetales la principal materia prima o elemento constituyente.

De hecho, un papel puede estar fabricado exclusivamente de fibras, normalmente vegetales (celulósicas) y según sea su origen y tratamiento tener propiedades distintas.

En sí, la propia constitución de las fibras vegetales determina el concepto de papel y lo que son sus principales propiedades: higroscopicidad, resistencia al paso del tiempo y a la manipulación, color...; pero estas cualidades iniciales pueden ser modificadas por otros componentes (aditivos, cargas, encolantes, colorantes, etc.) que serán los que terminen de definir las características del producto final.

Obviamente los aditivos modifican la configuración inicial del papel; por ejemplo, el encolado deposita sobre las fibras materias hidrófobas, impidiendo la absorción. Las cargas, al intercalarse entre las fibras, aumentan la opacidad, disminuyendo la resistencia (Navarro, 1970, 211).

Sobre terminología papelera y definición de términos pueden consultarse las obras editadas por la Asociación de Investigación Técnica de la Industria papelera Española: Investigación y Técnica del Papel nº 47, 1982, 910 ss y Diccionario Terminológico Iberoamericano de celulosa, papel, cartón y sus derivados, 1992.

Así, al hablar de la constitución de un papel tenemos que referirnos a dos elementos básicos; por un lado, el componente principal, las fibras, junto al tratamiento que han recibido para convertirse en pasta (Infra 3.1.) y, por otro, los componentes secundarios, o aditivos(Infra 3.2.), que son los que terminarán de configurar sus propiedades.

## 3.1. LAS FIBRAS

Aunque un papel puede estar compuesto por fibras de naturaleza animal (seda, lana, etc.), sintética (por ejemplo poliamidas y poliésteres), e incluso mineral (entre otros, vidrio, asbestos), lo habitual es que las fibras que lo constituyen sean de origen vegetal.

La estructura del papel se configura a partir de la estructura de las fibras celulósicas (Smook, 1990, 7) cuyas propiedades son las que a su vez definen las propiedades generales del papel:

- Alta resistencia a la tracción
- Capacidad de adaptación (flexibilidad y conformabilidad)
- Resistencia a la deformación plástica
- Insolubilidad en agua
- Hidrofilicas
- Amplio rango de dimensiones
- Capacidad de enlace
- Capacidad de retener aditivos
- Estabilidad química
- Relativa acromatía (blancas)

Para entender procesos de fabricación, características y causas de alteración del papel, es necesario conocer la estructura de las fibras vegetales. A muy grandes rasgos, podemos decir que están compuestas por los siguientes elementos químicos:

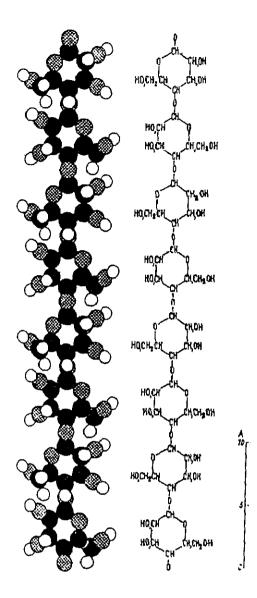


Fig. 27 - Polímero de la celulosa

- Celulosa (30 95%): es un polisacárido<sup>1</sup>, de naturaleza química muy estable, formado por largas cadenas de carbono, oxígeno e hidrógeno ( $C_0H_{10}O_5$ )n. (Fig. 27). Cuanto más se conserve la estructura de la celulosa, más resistentes serán las fibras.
- Hemicelulosa (5 35%):

  polímero de estructura mas variada y

  complicada que la celulosa<sup>2</sup>, de

  cadena más corta y generalmente

  ramificada. También actúa, por

  enlaces químicos, como ligante de las

  fibras. Para obtener papeles

  resistentes es necesario mantener

  parte de la hemicelulosa.

Un polisacárido está formado por muchas unidades de azucar (n) que se repiten formando un polímero. Mediante determinados procesos químicos (hidrólisis) se pueden romper las cadenas que estructuran la celulosa (polímero:  $(C_0H_{10}O_5)n$ ), haciendo que se transforme en glucosa (monómero:  $C_0H_{10}O_5$ ).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> La celuloss es un polímero formado exclusivamente de glucosa mientras que la hemicelulosa está compuesta por cinco azúcares diferentes además de ácidos urónicos.

- Lignina (0 - 30%): sustancia amorfa de estructura química muy compleja. Actúa como ligante de la madera manteniendo las fibras unas junto a otras y proporcionando rigidez a la estructura. Es muy inestable y provoca en los papeles amarilleamiento y acidez por lo que conviene su eliminación.

Otros compuestos menos abundantes son las resinas, grasas, proteinas y sustancias minerales<sup>1</sup>.

Respecto a la estructura de las fibras (Fig. 28), podemos decir que están formadas por fibrillas. compuestas microfibrillas, que las regiones cristalinas (zonas con agrupación densa de fibrillas paralelas) dan lugar a micelas. Las fibrillas están constituidas por celulosa (macromolécula), compuesta por glucosa, que no deja de ser una combinación de carbono, oxígeno e hidrógeno.

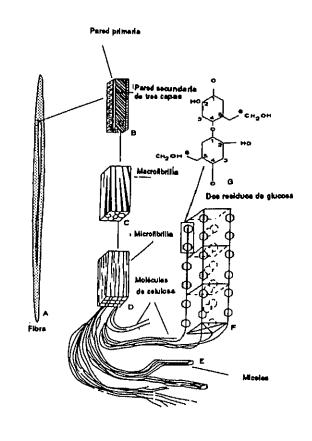


Fig. 28 - Estructura microscópica y submicroscópica de la celulosa

Para mayor información sobre porcentaje de elementos constitutivos según el tipo de fibra consúltese Navarro, 1970, Tablas p 64 ss.

Físicamente hablando, y de manera muy simplificada, en la fibra se pueden distinguir dos niveles (Fig. 29):

- Capa primaria, capa exterior donde se concentra la mayor cantidad de lignina, constituida por fibrillas entrecruzadas [En Fig.: P].
- Capa secundaria, zona interior, de fibrillas compuestas de celulosa pura y cubiertas de hemicelulosa que, en la zona más gruesa (capa intermedia de la pared secundaria [En Fig.:  $S_2$ ]) se alinean en sentido casi paralelo al eje de la

fibra. En la capa secundaria [En Fig.: S] las fibrillas dejan espacios libres (estructura porosa), entre los que puede haber una pequeña presencia de lignina (Gerard Martin, 1965, 7).

En el exterior de las fibras, cohesionándolas entre sí, se encuentra la lámina media, constituida principalmente por lignina [En Fig.: LM].

Para fomentar la adhesión entre las fibras y lograr un papel

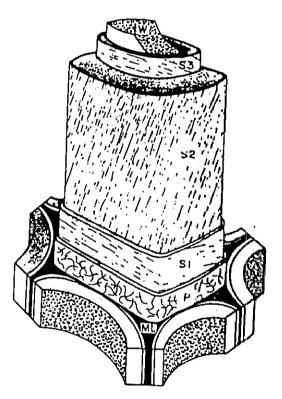


Fig. 29 - Organización de la pared celular

resistente, se debe romper la capa primaria (mediante procesos mecánicos, como el refino), liberando las fibrillas internas (fibrillación); al aumentar la superficie de contacto, se fomenta la unión interfibrilar. La eliminación de la capa primaria también permite la hidratación y la absorción de agua hace que aumente la flexibilidad y capacidad de enlace (Smook, 1990, 7).

El agua tienen una función trascendental en la unión que se produce entre las fibras, ya que los enlaces se forman por atracción de las moléculas de agua entre sí y los grupos hidróxilo de la fibra. Los grupos hidróxilos libres, debido a esta misma atracción, también son los responsables de la absorción del agua por parte del papel.

Cuando el agua se evapora, la superficie queda unida por lo que se denominan "puentes de hidrógeno". Esta unión química intramolecular e intermolecular es lo que hace que en la fabricación del papel se pueda prescindir de los encolantes, y la simple unión de fibras produzca un soporte altamente resistente.

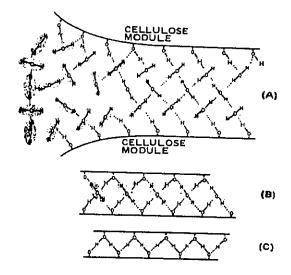


Fig. 30 - Niveles de enlaces de hidrógeno:

- A) Débil, a través de moléculas de agua.
- B) Más fuerte, a través de una capa de moléculas de agua.
- C) Directamente.

Los puentes de hidrógeno se producen cuando un átomo de hidrógeno (carga parcial positiva) se une a un átomo electronegativo de una molécula adyacente, como puede ser el oxígeno (carga parcial negativa) dando lugar a la unión de moléculas distintas.

El porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina varía según el vegetal del que procede la fibra, desde el algodón, constituido prácticamente por celulosa pura (88 - 96%) (CCI, 1986, 1) hasta las maderas, con un alto contenido en lignina (cerca de 30%).

Para la fabricación de un buen papel interesa prescindir de la lignina pues, como ya se ha indicado, es un elemento muy inestable, que se oxida fácilmente, dando lugar a compuestos coloreados (amarilleamiento) y productos ácidos. Los productos ácidos pueden dar lugar a la hidrólisis de la celulosa, haciendo que el papel se deteriore y pierda flexibilidad.

Las llamadas fibras liberianas (fibras de tallo no leñoso, como el lino) y las fibras textiles apenas poseen lignina en su constitución, al contrario que las fibras de tallo leñoso o fibras lignificadas (madera).

Desgraciadamente, desde la segunda mitad del siglo XIX, la principal fuente de fibras celulósicas para la fabricación del papel proviene de la madera, hasta alcanzar, según Smook (1990, 9) el 93% de los requerimientos mundiales de fibras vírgenes.

Aunque el tipo de fibra puede influir en la conservación según la presencia o nó de lignina (amarilleamiento e hidrólisis), este elemento puede eliminarse por completo en los procesos de fabricación de la pasta papelera.

Por otro lado, las propiedades específicas de cada papel dependen en gran medida de la estructura de las fibras que lo conforman, principalmente de características tales como el espesor de la pared celular<sup>1</sup>, la longitud de fibra<sup>2</sup>, etc.

Según la procedencia de las fibras, variarán sus características, y también las de los papeles fabricados a partir de ellas. Esto es bien conocido por la industria papelera, y de hecho se emplean distintos tipos de fibras según el tipo de papel que se desee fabricar; valgan como ejemplo las siguientes anotaciones, que complementan los Cuadros 2 y 3 (Kraemer, 1973, 28 y 36):

Cuadro 2 - Fibras de papel obtenidas por maceración de material leñoso (Kraemer).

Madera o material leñoso	Procedencia	Dimensiones $(\mu = 1.1000 \text{ mm}, \\ L = longitud, \\ \theta = didmetro)$	Sustancias	Presencia frecuente en:
Abedul (fig. 21)	Madera de Beiula verrucosa.	L = muy variable $\emptyset$ = 30-35 y 100 $\mu$	2 % q .±	Papeles nórdicos y rusos.
Abetos (fig. 25)	Madera de Picea exelsa, Abies alba, Pseudostuga douglasia y otras.	L = > 0.5 mm	ria en el mismo i lignina y 80 % intermedios. La ras 24-28% ligni-	Papeles de toda clase.
Bambú (fig. 16)	Tallo leñoso de muchas especies de la familia Bambusa.	L = > 3 mm Ø = 20-30 y 70-90 µ	r varia en el 10 % lignina odos intermec naderas 24-28	Papeles orientales (duros).
Caña	Arundo donax y otras, bagasa de la caña de azúcar, Saccha- rum officinale.	$L = \text{muy variable}$ $\emptyset = 20 \text{-} 120  \mu$	aciór ssde ay ((	Se usa en lugar de made- ras en los países que tie- nen poco bosque.
Chopos (fig. 23)	Madera de varias especies del género Populus.	L = varios mm Ø = 50-80 μ		Papeles de toda clase.
Esparto (fig. 27)	Liber leñoso de Stipa tenacissima y otras especies.	1.	ido de la na y celult celulosa p maccración 76 hemicel	Papeles duros de impre- sión y papel técnico.
Eucaliptos (fig. 22)	Madera de Euculypius globulus y ottas especies.	'		Papeles de toda clase
Paja (fig. 26)	Tallo leñoso de truicium aesti- vum (trigo), Oryza satira (arroz) y varios otros cereales.	L = muy variable	sistema y el graporción de ligni porción de ligni a prácticamente n mecánica, sin iclulosa y 20.25	Papeles duros de imprenta y papel técnico.
Pino (fig. 24)	Madera de Pinus silvestris, P. in- signis, P. strobus y otras.	L = > 0.5  mm $\emptyset = 40-50 \mu$	el sistema proporción hasta práction Sición mecás % celulosa	Papel de toda clase.
Madera tropical Limba (fig. 30)	Principalmente se encuentra (en- tre muchas maderas diferentes) en <i>Terminalia superba</i> Engl. et Diels.	L = muy variable  Ø = 15-25 u v ele-	Según el sistema y el origen la proporción de l celulosa hasta prácticamo descomposición mecánica, na, 40-50 % eclulosa y 20	Papetes de origen africano.

Las fibras gruesas dan lugar a papeles abiertos, voluminosos y absorbentes, con alta resistencia al desgarro y poca resistencia al reventamiento y tracción

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Para que se de una buena unión interfibrilar es necesaria una longitud de fibra mínima. La longitud de las fibras influye en la fuerza del papel, y de hecho es directamente proporcional a la resistencia al desgarro (Smook, 1990, 16).

### 1) Fibras de tronco leñoso (madera)

- Coníferas: son maderas blandas que proporciona fibras de gran longitud, para papeles fuertes.
- Frondosas: dan lugar a fibras más cortas y pastas más uniformes. Su estructura porosa permite papeles con gran capacidad de absorción del agua. En general dan lugar a papeles de baja resistencia a la tracción.

# 2) Fibras de plantas de tallo no leñoso (liberianas):

- Lino: es la fibra vegetal más fuerte, se divide fácilmente en fibrillas. En los papeles proporciona dureza y resistencia al frotamiento; sirve para soportes densos, duros y resistentes (papel moneda y cartográfico).
- Cáñamo: parecido al lino pero menos uniforme y con mayor facilidad de desfibrado, es una fibra muy fieltrable.
- Ramio: es una fibra muy valiosa, ya que es la que tiene mayor capacidad para dividirse en fibrillas; son largas, delgadas, limpias, de alta blancura, resistentes y de buen poder cubriente. Sirve para papeles finos, duros y poco transparentes, con gran resistencia a la tracción.
- Paja de cereales (trigo, centeno, cebada, etc.): fibras de buena resistencia y uniformidad. Proporciona en los papeles buen tacto y carteo.
- Paja amarilla: contiene todas las partes incrustantes de la paja, por lo que supone el producto de peor calidad para la fabricación del papel.

- Bambú: fibras largas y regulares, proporciona un papel suave y voluminoso.
- Esparto: fibra con muy buenas propiedades para papeles de buen volumen y buenas características de impresión.

Muchas de estas fibras (lino, ramio, esparto) además de obtenerse directamente del vegetal pueden provenir de restos textiles.

#### 3) Fibras de frutos

-Algodón: es la fibra que tiene mayor contenido en celulosa, por lo tanto la de mejor calidad y más resistente al envejecimiento (CCI, 1). Procede de restos textiles o de los "linters" de la planta del algodón (pelusilla adherida a las semillas). Sus fibras son elásticas y flexibles, pero tienen poca facilidad para dividirse en fibrillas. Proporciona papeles blandos, con capacidad de succión, buena estabilidad dimensional y muy resistentes al paso del tiempo (Keim, 1966, 59).

Desde el punto de vista de la resistencia al paso del tiempo -cuestión fundamentalmente relevante en la orientación de este trabajo- la diferenciación más importante radica en la procedencia o no de troncos leñosos, lo que implica fibras con mayor o menor cantidad de lignina.

Pero la presencia de lignina en un papel depende del tipo de fibras empleadas, y de los procesos de elaboración de la pasta papelera que, como veremos, pueden llegar a eliminarla.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Tavera y Molina (1988 y 1989) han realizado estudios mediante envejecimiento acelerado sobre la permanencia de distintas formulaciones fibrosas.

Para poder fabricar un papel ha de procederse a la transformación y refino de las fibras, hasta convertirlas en una pasta. Así, el tratamiento que reciben las fibras también influye en las características del papel, desde su resistencia al paso del tiempo (eliminación o no de la lignina), a su resistencia a la manipulación (grado de refino...), absorción, suavidad, etc.

Según las fibras empleadas en la fabricación del papel hablaremos de papeles de fibras lignificadas (leñosas o madera -Infra 3.1.2.-) y no lignificadas (no leñosas: textiles y liberianas -Infra 3.1.1.-), y según el proceso de obtención de la pasta papelera, de papeles de pasta mecánica, química y semiquímica (Infra 3.1.2.1, 3.1.2.2. y 3.1.2.3.).

El refino elimina la pared primaria que recubre las fibras, permitiendo su hidratación y fomentando la capacidad de enlace.

Cuadro 3 - Fibras Naturales del papel (Kraemer).

		Dimensiones		
Fibra	Procedencia	$ \begin{array}{c} (\mu = 1/1000 \text{ mm,} \\ L = longitud, \\ \emptyset = diámetro) \end{array} $	Sustancias y su porcentaj (calculado sobre 10 % agua 90 % sólidos)	Presencia frecuente en:
Algodón (figs. 10, 11	- Genete Gossyphant.	$\emptyset = 12-40  \mu$	celulosa, 82,5 hemicelulosas y pectina, 5, ceniza, grasas, ceras, 0,5	Papel de trapo.
Amatl (fig. 13)	Liber de corteza de las higuera mejicanas, Ficus padifolia otras.	L = muy larga $\emptyset = 18-25$ $\mu$	celulosa lignina	«Papel» de los mayas aztecas.
Aralia (fig. 14)	Médula de Aralia papyrijera.	Células de la mé dula Ø = 80-100 μ	celulosa, muy variable pectina, 8-11 almidón, 2-7	Papel de «arroz» del lejano oriente.
Cáñamo (fig. 18)	Fibras del tallo de Cannabis sa tiva.	Ø = 15-50 μ	cclulosa, 67 hemicelulosas, 16,1 pectina, 0,8 lignina, 3,3	Papeles antiguos y pape técnico.
Cáñamo de Manila	Liber de la conexión hoja-tronco del plátano Musa textilis.	$L = 3-12 \text{ mm}$ $\emptyset = 20  \mu$	celulosa, 63,2 hemicelulosas, 19,6 pectina, 0,5 lignina, 5,1	Papeles técnicos, encuader- nación.
Kapok «Lana de Bombax» (fig. 9)	Fibras en las cápsulas de Erlo- dendron aufractuosum, E. hep- taphyllium (Africa occidental) y varias Bombaceae como Bombax malabaricum.	$\theta = 20.30 \mu$	celulosa, 58-70 % lignina, 3-9 %	Papeles técnicos de calidad.
Kenaf	Liber del tallo de Hibiscus can- nabinus.	L = 1-12 mm Ø = 10-40 μ	celulosa, 55-59 hemicelulosas, 18-20 pectina, 4,5-5 lignina, 12	Papeles técnicos.
Lino (fig. 19)	Liber del tallo de Linum usita- tissimum.	L = 20-40 mm Ø = 20-30 μ	celulosas, 64,1 hemicelulosas y pectina, 18,5 lignina, 2	Papel de trapo.
Moral (fig. 15)	Liber de la corteza de Brousso- netia papyrifera-	L = muy larga Ø = 100-300 μ	celulosa, hemicelulosas, lig- nina: los porcentajes va- rían mucho según el procedimiento de la ma- ceración	Papeles orientales.
Rafia	Liber de la epidermis de las ho- jas de las palmeras Raphia rulfia y otras.	Ø = 10-50 μ	celulosa hemicelulosas lignina	Papeles técnicos.
Ramio (lig. 17)	Liber del tatto de Boehmeria ni- vea y sus subespecies.	$\emptyset = 40-80 \ \mu$	celulosa, 69 hemicelulosas, 13 pectina, 1,9 lignina, 0,6	Papeles de gran tenacidad.
«Ramio» falso	Fibras del tallo de Urnea dioica.	$\emptyset = 30$ (1	celulosa, 56-60 hemicelulosas, 10-16 lignina, 12-20	Papeles de gran tenacidad
Yute (fig. 20)	Liber del tallo de Corchorus cup- sularis, C. otitorius y otras,	$\emptyset = 10.25  \mu$	celulosa, 64 hemicelulosas, 16-17 lignina, 12	Papeles técnicos, encuador- nación
Seda natural (fig. 33)	Hilo del capullo producido por la oruga de <i>Bombyx mori</i> (mariposa).	, i	libroin, 76 sericln, 17-23 ibre de agua	Antiquisimos «papeles» chi- nos.
Lana (fig. 34)	Pelo de ovejus y cabras.		ceratina, 95-99,5 casi libro de agua	Antiguos papeles del centro de Asia, papeles técnicos

#### 3.1.1. La pasta de fibras no lignificadas

Las fibras no lignificadas provienen de plantas herbáceas (fibras liberianas) y textiles, y se caracterizan por su escaso contenido de lignima; pero no toda planta herbácea tiene sus fibras no lignificadas, ya que en algunas, al envejecer, se lignifican los tallos convirtiéndose en lo que comúnmente se denomina cañas o pajas. Esta paja tendrá entonces una elevada cantidad de lignina, propia de las plantas de tallo leñoso, cuyas fibras siempre se hallan lignificadas.

La pasta de fibras no lignificadas constituye la materia prima más apreciada para la fabricación de los papeles de mejor calidad. Su principal ventaja es la resistencia al tiempo, pues envejece de forma más lenta que la de fibras lignificadas, garantizando mayor permanencia y durabilidad de la obra artística. La pasta de papel de fibras no lignificadas puede provenir directamente de plantas herbáceas o tejidos fabricados a partir de estas fibras.

El empleo de fibras obtenidas directamente de los vegetales suele suponer un mayor coste de producción, pues para lograr el desfibrado es necesaria la cocción con productos químicos.

En principio resulta más económico emplear los desechos textiles que, tanto en el caso de trapos viejos como nuevos, no tendrían una aplicación más ventajosa; además, para ser convertidos en pasta papelera, precisan operaciones más simples, basadas principalmente en la limpieza. El único inconveniente del empleo de trapos es la escasez de esta materia prima en relación a la

demanda, lo que contribuye a su encarecimiento y a la búsqueda de fibras vegetales sustitutivas<sup>1</sup>.

En China, actualmente, se sigue consumiendo un papel de fibras vegetales, que también se exporta a Europa. Es un papel muy delgado que se encola débilmente, pues al escribir con pincel, los orientales no precisan un papel tan encolado como el europeo. La fibras del papel chino se obtienen macerando bambú con cal viva y cenizas de paja de arroz<sup>2</sup> mediante un proceso muy complicado.

Desde China, los métodos de fabricación del papel pasaron a Japón, durante los siglos VI- VII, donde el proceso de obtención de las fibras se fue perfeccionando. En el papel japón se emplean preferentemente fibras de bambú, de Broussonetia papyrífera, kodsu japonés (moral del papel), Wickstroemia canescens (Gampi), y la Edgeworthia papyrífera (Mitsumata);

Como vimos, el primitivo papel chino (fidaliz), según cuenta la tradición, estaba formado por retazos de seda y de restos textiles, como ropas, redes de pesca, o capazos. Parece que en poco tiempo desapareció el uso de la seda y se incorporaron fibras vegetales como las de la morera (arbol kao-tschou) y el ramio. Prueba de esto son los hallazgos de primitivos papeles chinos, en los que aparece gran diversidad de tipos de fibras en función de la vegetación autóctona de cada zona (bambú, cáñamo, morera, gampi, mitsumata, paja de arroz y ramio). Probablemente el método más primitivo para la obtención de las fibras de papel, exceptuando el fidaliz, fuera la recogida de ramas de vegetal que, una vez cortadas, eran introducidas en la aguas de un río para ablandarlas y poder proceder a su trituración con martillos; como puede verse era un sistema similar a la obtención de amatle precolombino.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> A diferencia de este papel, está el papel chino de arroz, que no es un papel propiamente dicho ya que está formado por la médula del "Aralia papyrífera" cortada en espiral. Este soporte es muy apreciado en China para pintar acuarelas y miniaturas, como las que se conservan en el Palacio de Aranjuez en España como regalo imperial chino.

estas plantas dan lugar a fibras muy largas, que tradicionalmente son hervidas con raíces de arroz y véni, que actuan como aglutinante<sup>3</sup>.

Actualmente, de los brotes de las plantas, se arrancan las cortezas con el líber, se ablandan con agua caliente y raspando se elimina la corteza fibrosa dejando el líber. Este se cuece con cal, o con lejía de cenizas o de sosa, y una vez convertido en fibras, se machaca en unos morteros de piedra, que pueden estar movidos por fuerza hidraúlica. Los papeles que se obtienen con estas fibras son muy apreciados para el grabado, por la suavidad y uniformidad de su superficie.

En el mundo árabe, las materias primas empleadas por chinos y japoneses se sustituyeron por otras más accesibles en su área de fabricación del papel, así se emplearon principalmente los trapos de algodón y de lino<sup>2</sup>.

En el mundo occidental, los trapos fueron el primer material empleado para la fabricación del papel, la transformación de éstos en pasta papelera ha evolucionado considerablemente, y en la actualidad se emplean complejos sistemas que reducen el tiempo y trabajo necesarios para su producción. Sin embargo, todavía, aunque en muy pocos lugares, se conservan los métodos

Partiendo del análisis de las fibras de incunables japoneses, Kraemer (1979) considera que el antiguo sistema de obtención de la pasta papelera en Japón no podía ser simplemente por lavado y cocción de los vegetales, pues de este modo no puede obtenerse una celulosa tan pura, sin restos de lignina; pudo ser posible un sistema de fermentación con bacterias (maceración biológica) que, según estampas de la época, podía haberse realizado con estiércol).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El método de obtención de la pasta papelera consistía en la fermentación de los trapos en agua, su cocción con cenizas de madera, lavado, y desfibrado mediante golpes de palos contra una piedra. Como puede apreciarse, este sistema está muy próximo a la obtención de la pasta papelera en el mundo occidental.

tradicionales de obtención de la pasta papelera, como en el ya citado caso del Molino Papelero de Capellades.

La obtención de la pasta de trapos no varió excesivamente entre los siglos X y XIX, siendo en este último cuando se generaliza el empleo de la pasta de madera. El proceso completo consta de las siguientes etapas:

- Recogida y selección de trapos.
- Trozeado.
- Expolsado.
- Lejiado.
- Pudrición.
- Lavado.
- Maceración.
- Bateado.

El proceso comienza con la recogida y selección de trapos. Las materias primas más comunes entre el siglo X y el XIX en Europa son los trapos de cáñamo y lino, caracterizados por darle al papel cierta dureza; los trapos de algodón tampoco son extraños y dotan al papel de esponjosidad y buena absorción.

Los trapos más apreciados eran los lienzos blancos y finos de lino y cáñamo usados, pues la tela nueva es más dificil de triturar. Para el papel de peor calidad los trapos de seda y lana se mezclaban con lienzos groseros (papel gris).

La tarea de selección de los trapos la llevan a cabo las escogedoras, que van tomando los trapos separándolos en varios compartimentos, después de eliminar de ellos, con un cuchillo, las costuras y los cuerpos extraños<sup>1</sup>.

La gran demanda de papel, unida a la escasez de trapos<sup>2</sup>, hizo que a partir del siglo XVIII tuviera que emplearse trapos de color, que debían ser blanqueados con elementos clorados. Esto sólo pudo ser gracias al aislamiento del cloro, realizado en 1774 por Soheele.

Una vez seleccionados, los trapos se cortan en trozos pequeños -trozeado- mediante una cuchilla



Fig.30 - Escogedoras

vertical empotrada en una mesa. En el siglo XVIII comienza a usarse la cortadora de trapos, que agilizará este proceso. En muchos molinos de Francia

Dependiendo del molino papelero la clasificación puede ir de 2 a más de 10 tipos, pero lo normal es que los trapos se agrupen según su clase en tres cajones: trapos finos (para papel de primera calidad), medianos o entrefinos, y ordinarios (para el papel blanco más grosero). Los trapos que no sirven para el papel blanco (arpillera, lana, seda, etc.) se tiran al suelo y se unen con los restos de costuras gruesas para formar luego el papel de estraza o de envolver. Si se quiere apurar la selección se hacen seis grupos: superfino, fino, costuras del fino, mediano, costuras del mediano y ordinario.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El problema de la escasez de trapos venía desde antiguo pues ya en el siglo XVI se habían dictado en España disposiciones reales fuertemente proteccionistas, por las que se prohibía la exportación de trapos. Este proteccionismo se acusa también en otros países europeos, como en Francia, donde en el siglo XVII se establecen altas tarifas tributarias disuasorias de la exportación, llegándose a prohibir ésta entre 1697 y 1733, o en Inglaterra, donde en el siglo XVIII estaba prohibido enterrar a los muertos con "vestidura blanca" (La Lande).

y Holanda el cortado de los trapos se realizaba después de haber pasado éstos por el pudridero.

Tras el trozeado de los trapos debe ser eliminado el polvo que contienen -expolsado o desempolvado-, agitándolos dentro de un recipiente con paredes de rejilla metálica (expolsador o diablo) que gira accionado mediante una manivela.

Para una mayor limpieza se procede al lejiado, donde los trapos se mezclan, en grandes tinas, con cenizas, greda o arcilla; mediante este sistema se consigue desengrasarlos e igualar el color.

Del lejiado se pasa al pudridero, aquí se introducen en una pila con agua para que, al fermentar con ayuda de las bacterias, se afloje el material fibroso y se destruyan cuerpos extraños y grasas (suciedad)<sup>1</sup>.

En algunos casos este efecto de la fermentación se favorece con la adición de cal, lo que contribuye a acelerar el proceso y a una limpieza antiséptica; un exceso de cal ablanda excesivamente los trapos, por lo que en algunas ocasiones los Reglamentos para la fabricación de papel de algunos países prohibieron su uso<sup>2</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> En muchos molinos se prescinde del lejiado y los trapos van directamente al pudridero, a través de una trampilla que los conduce desde la sala de las escogedoras a una cubeta subterránea, donde se vierte agua. En otros, los trapos ni siquiera se pudren en tinas, sino en montones que se remojan y se van removiendo cada cierto tiempo hasta que en ellos aparecen hongos.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El Decreto del Consejo de Estado francés del 27/1/1739, en su artículo 5º prohibe "...que se mezcle con el trapo...alguna suerte de cales, u otros qualesquiera ingredientes corrosivos..." (La Lande, 1778, 150).

Los trapos, que ya son casi hilachas, se someten a una corriente de agua, donde se lavan y se eliminan los residuos de los productos empleados anteriormente.

Para que estas hilachas se conviertan en una pasta mínimamente uniforme es necesaria la maceración. Primitivamente la maceración se realizaba triturando los trapos con molinos de piedra, pero la manera tradicional consiste en machacarlos en los batanes con mazos de madera, movidos por fuerza hidraúlica (de ahí la ubicación de las fabricas de papel en molinos).

Los batanes constan, generalmente, de baterías de varias pilas de piedra, o de madera con una plancha de hierro en el fondo, donde los trapos son cortados, machacados y desfibrados por medio del golpeteo de los mazos o martinetes<sup>1</sup>.

A este efecto, los mazos están dotados, en su base, de cuchillas o clavos (mazos de deshilachar), de clavos romos para moler y triturar (mazos de afinar) o de superficie plana (mazos de desleir), y suelen disponerse en seis pilas: en las tres primeras se cortan los trapos, en las dos siguientes se afinan, y en la última se deslien<sup>2</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Cuando este tipo de pilas dejaban de usarse durante un tiempo, las planchas de hierro se oxidaban, manchando el papel que se hacía con ellas. Por esto son preferidas las pilas de piedra, o las planchas de otro tipo de metal.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Generalmente, en cada tina trabajan tres mazos del mismo tipo, pero de distinto grosor: El mazo cercano a la entrada del agua, "mazo fuerte", es el más ancho, luego está el mazo "de en medio", y finalmente el mazo "endeble", que es el más estrecho. Esta desigualdad facilita la circulación de la pasta por toda la tina. Esta disposición de los batanes no es casual, y responde a los lentos avances de (continúa...)

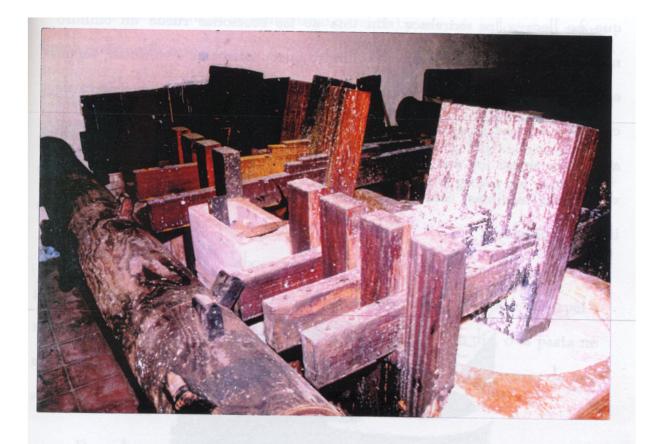


Fig. 32 - Batanes del Molino Papelero de Capellades

Pero las calidades más regulares de refino se logran con la pila holandesa, cuyo uso se generaliza en el siglo XVIII. La pila holandesa consiste en una pila de metal, cemento o madera forrada de plomo en la base interior,

<sup>2</sup>(...continuación)

la industria papelera. El intento de mejora de los sistemas de refino de la pasta fue una preocupación constante, esto conllevó una lenta evolución para lograr calidades mejores con fibras más finas y ausencia de grumos. De hecho, no aparecen papeles con una buena textura hasta al menos el siglo XIII en Italia.

Para perfeccionar la fabricación, entre el siglo XII y XIV se añadió a los mazos, de origen liso, clavos cortantes que dejaban la pasta más fina, pero que al cortarla en exceso provocaban la aparición de grumos por el enroscamiento de las fibrillas cortas. Así entre los siglos XVI y XVII se estableció el sistema de dos martinetes, uno con clavos cortantes y otro con clavos romos, que solo aplasta y abre las fibras. Parece ser que es en la segunda mitad del siglo XVIII cuando se establece el sistema clásico de tres martinetes: con clavos cortantes, con clavos romos y lisos (Valls, 1970b).

de forma ovalada, dividida a lo largo en dos secciones por un tabique vertical que no llega a los extremos. En una de las secciones rueda un cilindro recubierto de cuchillas de acero. El cilindro puede acercarse a voluntad, según el grado de refino deseado, contra una platina metálica con otro sistema de cuchillas colocadas paralelamente en el fondo de la pila. La pasta diluida en agua pasa entre los dos grupos de cuchillas y se mezcla y desfibra. Con variaciones mínimas, esta máquina se sigue empleando actualmente en la industria papelera.

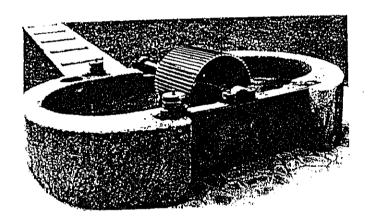


Fig. 33 - Pila holandesa

El tiempo requerido para preparar la pasta papelera es, aproximadamente, la mitad si se usan pilas holandesas en vez de martinetes (de

Al igual que en el caso de los mazos, hay pilas holandesas con cilindros para deshilachar, para afinar y para desleir. Los cilindros de deshilachar se colocan más lejos de la pletina que los de afinar, y éstos, para poder atrapar los trapos por un mayor número de puntos, tienen unas muescas en las cuchillas; sin embargo los cilindros de desleir pueden ser totalmente de madera y sin cuchillas.

ocho a diez horas en lugar de venticuatro o treinta) y además se logra un refino mucho más uniforme.

Una vez obtenida la pasta, con los martinetes o con la pila holandesa, se bate la pulpa -bateado- con otro mazo de madera movido hidraúlicamente, y se mezcla con mayor o menor cantidad de agua, según el grosor del papel que se desee obtener.

Este proceso de elaboración de la pasta de trapos se realizaba, generalmente, en el mismo molino donde se fabricaban las hojas de papel a mano, pero si no es este el caso, como suele ocurrir hoy en día, o la pasta no se va a emplear en un corto espacio de tiempo (como mucho en menos de una semana) debe almacenarse seca para evitar su putrefacción.

Para almacenar la pasta se vierte sobre los cajones de depósito, que en su base tienen un enrejado para que el agua pueda escurrir. En ocasiones se guarda la pulpa sin afinar, sólo deshilachada.

El primitivo proceso para conseguir pulpa de fibras a partir de los trapos ha evolucionado hacia métodos de mayor nivel de productividad, adaptados a la industria moderna. Actualmente, los trapos se suelen obtener de residuos de tejidos casi siempre nuevos, procedentes de la industria textil y de confección.

Los trapos más usados son los de algodón de las fábricas textiles; son muy apreciados, pues sus fibras son muy tenues y delicadas, de poca higroscopicidad y muy elásticas; dan lugar a una pulpa fina con la que se obtienen papeles blandos, suaves, flexibles y con probada estabilidad dimensional.

El lino y el cáñamo tienen fibras muy parecidas, toscas, fuertes y fácilmente fibrillables; las de cáñamo producen una pulpa espesa que da lugar a papeles muy fuertes y resistentes (sobre todo al doblado) y de cierta transparencia.

Las fibras de ramio, largas y delgadas, son, de todas, las que mejor se fibrilan, producen papeles muy resistentes, y por esto se usan para hacer billetes de banco y papel de impresión.

Cuando se quiere un papel resistente, pero más económico, se emplean las fibras de kenaf y cuando no importa el factor estético, pero sí la fuerza, se usan las de yute, generalmente procedentes de sacos, ya que su blanqueo ofrece dificultades.

Debido a la escasez de trapos, la pasta papelera de este material no se suele emplear pura, sino para mejorar otro tipo de pastas. Según la terminología papelera, para que un papel sea considerado de trapos sólo debe tener una importante proporción de pasta de trapos, cuyo mínimo varía según las normas de cada país; cuando el uso de la pasta de trapos es exclusivo en la formación de un papel, entonces recibe la denominación de "papel sólo de trapos" (Norma Española, UNE 57.003-1978)

En ocasiones se emplean directamente los vegetales de tallos herbáceos no lignificados (lino, cáñamo y algodón), pero entonces el coste del papel se encarece.

En la actualidad, tienen bastante aceptación las "fibras virgo de algodón", fibras cortas adheridas a las semillas de algodón, que no tienen utilidad en la industria textil y que pueden ser aprovechadas para la fabricación del papel gracias a la aparición, en 1973, de la máquina

desmontadora de algodón. Las fibras del pelo de la semilla del algodón al ser casi celulosa pura, sólo precisan un hervor ligeramente alcalino<sup>1</sup>.

Un papel hecho con fibras vegetales es el papel alfa, obtenido de las plantas del mismo nombre (Stipa tenacissima) y esparto (Lygeum spartum). Para transformarlas en pasta de papel se realiza una cocción alcalina de los tallos largos, parecida a la obtención de la celulosa de paja. Dan lugar a papeles muy finos y de superficie muy plana, adecuada para impresos finos.

Otro tipo de fibras vegetales muy apreciadas son las del ramio chino, son casi celulosa pura, muy blancas y fácilmente divisibles en fibrillas y proporciona un papel muy resistente. Al ser muy escasas se emplean mezcladas con otras pastas, principalmente para la fabricación de billetes.

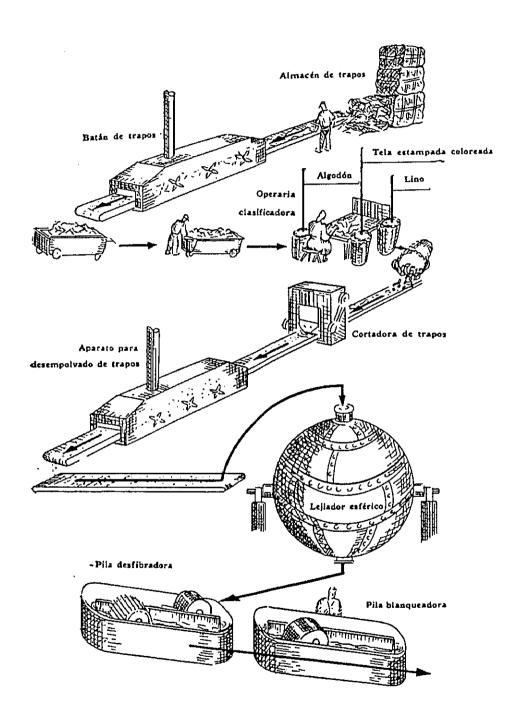
También pueden utilizarse la adansonia (liber del baobab), el papiro, el bambú, la caña de azucar, la caña, la paja de maiz, la paja de arroz, etc., pero, como ya vimos, cuando estas plantas herbáceas, por su envejecimiento, se lignifican, pierden las propiedades que las hacían tan apreciadas y se convierten en plantas de fibra lignificada cuyo tratamiento para convertirse en papel, como veremos posteriormente, es muy similar al de los vegetales de tallo leñoso.

El <u>proceso actual</u> de obtención de la pasta de trapos pasa por las siguientes fases (Fig. 34):

Primer desempolvado de los trapos por medio de un sistema de tambores (sacudidor de trapos, batán de trapos, lobo o diablo) provisto de un mecanismo de aspiración por colectores de polvo.

La celulosa de algodón es de una calidad superior; entre sus ventajas está la de ser mucho más resistente a los componentes ácidos de la contaminación ambiental que otro tipo de celulosas. Su único inconveniente es que resulta económicamente más cara (Zappala, 1991, 140).

Fig. 34 - Proceso moderno de fabricación de la pasta de trapos (Keim)



Clasificación o deslinde, previa eliminación de cuerpos extraños (botones, hebillas, etc.), según clases de fibras, espesor del hilo, coloración, limpieza, estado de uso, etc¹. La mesa sobre la que se realiza la selección de los trapos dispone de una base o rejilla con aspiración para evitar la formación de polvo.

Troceado de los trapos en cuadrados de 5-10 cm. Hay dos tipos principales de máquinas cortadoras de trapos: las punzonadoras, que rompen el trapo mediante punzones, y las cortadoras de cuchillas, donde los trapos se cortan, a modo de tijera, por medio de un rodillo con cuchillas que gira bajo un borde afilado.

Segundo desempolvado con aire comprimido para separar el polvo que han ocasionado las fibrillas de los trapos cortados. El desempolvador, en esta fase, va dotado de un cilindro con púas que intensifica la limpieza mecánica de los trapos. Las pequeñas fibras desprendidas en esta operación se recogen y se emplean para papeles de baja calidad.

Cocción o lejiado: este sistema sustituye a la antigua maceración de la Edad Media, y consiste en la eliminación de la suciedad y la disgregación de las fibras, mediante la cocción de los trapos en unas calderas rotatorias tipo autoclave (hervidores de trapos) con soluciones alcalinas; generalmente hidróxido cálcico en forma de lechada de cal, carbonato sódico, sosa caústica

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Según estos criterios, los trapos pueden llegar a clasificarse hasta en treinta tipos, aunque ya vienen bastante seleccionados por el suministrador.

o mezclas de estos productos<sup>2</sup>. Según el tipo de trapos se emplean unas sustancias u otras durante un tiempo determinado que varía entre 5 y 12 horas<sup>2</sup>.

Lavado: después de la cocción, las fibras se lavan dentro del mismo hervidor de trapos, con movimientos giratorios, durante dos horas con agua caliente y una con agua fría. El lejiador vierte los trapos sobre un tamiz, y tras ser escurridos, pasan a la pila holandesa. En la pila holandesa vuelven a lavarse con agua corriente, moviendo la pulpa con su tambor giratorio.

Trituración: se realiza en las pilas holandesas de media pasta, desfibradora o filocho, con ello se logra el desprendimiento y disgregación de los hilos, que se convierten en fibras sueltas de una longitud aproximada de 4 mm. Después de triturados, los trapos vuelven a ser lavados con agua corriente en la misma pila holandesa, para ello la pila está dotada de un tambor lavador.

Blanqueo: en el caso de haber utilizado trapos de color la pulpa se traslada a la pila holandesa de blanqueo, donde se baña con productos

la lechada de cal es el producto más indicado para conseguir este efecto, es más barata, de mayor eficacia limpiadora y estropea menos las fibras; pero el carbonato sódico y sobre todo la sosa caústica suelen ser más eficaces para la eliminación de las manchas de grasa. El problema de la sosa caústica es que la suciedad forma una emulsión que queda fijada en las fibras dejando residuos de dificil eliminación.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Durante la cocción con vapor a presión la suciedad se separa de las fibras, los cuerpos grasos se saponifican y el jabón que se forma por la saponificación de las grasas absorbe la suciedad que podrá eliminarse con un simple enjuague. Las materias colorantes también se ven afectadas, por lo que posteriormente se blanquearán con mucha más facilidad.

clorados<sup>3</sup>. Las pilas holandesas de blanqueo impulsan las fibras mediante unas hélices, y suelen estar construidas con madera o bronce.

Tras el blanqueamiento, la pasta se enjuaga con agua y se deja escurrir, luego se neutraliza con sulfito, bisulfito, metabisulfito o tiosulfato sódico, o con amoniaco o agua oxigenada. Este proceso de eliminación de los residuos clorados es muy importante, pues si no está bien efectuado el papel amarillea al cabo del tiempo<sup>2</sup>.

Escurrido: una vez finalizado el proceso de obtención de la pasta, se coloca en las cajas de escurrido, que tienen la base de piedras filtrantes, o en la cámara de desagüe, de ladrillos con suelo de baldosas perforadas.

En este estadio del proceso se habrá obtenido una media pasta, de fibras demasiado gruesas para formar un buen papel; para convertirse en una pasta completa deberá ser afinada posteriormente. La media pasta de trapos podrá secarse y almacenarse o mezclarse en este momento con otros tipos de fibras que, también convertidas en media pasta, requerirán un mismo tiempo de refino. De lo contrario, proseguirá el afinado en otra pila holandesa hasta convertirse en una pasta entera o completa.

Como productos blanqueadores se emplean mayoritariamente el cloruro de cal y el hipoclorito (más caro), aunque para el lino y el cáñamo se prefiere un primer blanqueo con gas de cloro seguido de otro con cloruro de cal.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> La necesidad de emplear, en ocasiones, trapos de color o sucios, que precisan ser blanqueados o limpiados con agentes químicos fuertes, hace que ciertas cualidades del papel de trapos, desde el punto de vista de permanencia y durabilidad, se vean mermadas, ya que los residuos de sustancias químicas fomentan el amarilleamiento y la oxidación de la celulosa (formación de oxicelulosas).

Este efecto no sólo es antiestético sino que también causa el envejecimiento prematuro del papel. Por esto, muchos fabricantes hacen especial hincapié en las características de los papeles de blancura natural y en el hecho de no haber empleado productos clorados o ácidos en su limpieza o en cualquier otro proceso (papeles fabricados en medio neutro).

Pasta entera o completa (afinado): para formar un buen papel no basta con desfibrar los trapos, es necesario que las fibras se abran en sus extremos y se separen en fibrillas, que serán las que luego, al entrelazarse entre sí, den cohesión al papel. Esto se consigue con una nueva trituración de las fibras en la pila holandesa de pasta entera.

Según el tipo de papel que se desee fabricar, el grado de fibrilación deberá de ser mayor o menor, razón por la que se distingue la molienda fina o refinado graso de la molienda basta o refinado magro.

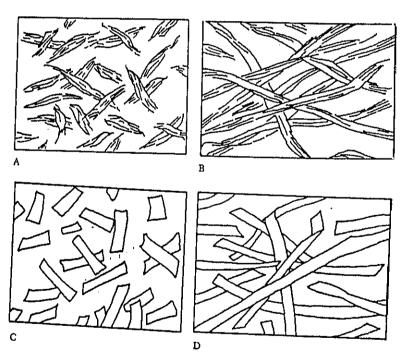


Fig. 35 - Estados de refino de la pasta de papel:

- A) Refino "graso de fibras cortas"; B) Refino "graso" de fibras largas;
- C) Refino "magro" de fibras cortas; D) Refino "magro" de fibras largas.

La molienda basta se emplea para papeles muy absorbentes, flexibles, blandos y opacos, como el papel secante o algún papel de imprenta o estampación, en este caso las fibras no difieren tanto de la media pasta y lo que se pretende con la pila holandesa es su corte, por lo que se emplean rodillos con cuchillas.

La molienda fina es para papeles con cierto aspecto transparente, resistentes y rígidos; se logra aplastando las fibras, para que produzcan el mayor número posible de fibrillas, y para ello se emplean cuchillas muy romas o de lava, pues no se pretende cortar las fibras sino machacarlas.

Al igual que en el caso de la media pasta, después de finalizado el proceso de maceración, si no se va a fabricar papel en el momento, la pasta se escurre, se seca y se almacena.

Secado: si la pasta no se emplea inmediatamente debe guardarse en seco para evitar su putrefacción y facilitar el almacenamiento. El sistema más idóneo para el secado de la pasta de papel es el centrifugado en máquinas deshidratadoras y el prensado con un prensapastas para un posterior almacenamiento en forma de cartones o bloques de fibras.

### 3.1.2. La pasta de fibras lignificadas

Como se ha comentado, cuando a mediados del siglo XVIII escascan los trapos se comienza a experimentar con nuevas fibras para la obtención del papel. Se ensayó con algas, plantas vellosas, virutas de serrín, ortigas, cardos, piñas, etc. pero no dejaron de ser meros intentos que daban lugar a resultados esperanzadores pero no definitivos (La Lande).

Aunque un antecedente inmediato fue el ensayo de desintegración de paja por medios mecánicos, que conllevó la aparición del primer libro imprese a base de celulosa de paja en 1800, no se consiguieron resultados realmente satisfactorios hasta el empleo de madera como materia prima y la aparición de métodos de desfibrado capaces de convertirla en un elemento apto para la fabricación del papel<sup>1</sup>.

La madera abarata los costes, pero proporciona papeles de peor calidad que los de pasta de trapos. Este problema se ha podido superar, aunque sólo en cierto modo, al eliminar, mediante procedimientos químicos, sustancias nocivas que acompañan a la celulosa de madera (lignina). El tipo de pulpa obtenida mediante estos métodos se denomina pasta química, a diferencia de la pasta

Este avance revolucionario en la industria papelera data de 1843, cuando el alemán Kallor patenta el desfibrado de la madera por medio de la abrasión de una muela y agua (pasta mecánica) y aunque en principio la pasta de madera sólo se empleará como carga de relleno para mezclarla com pasta de trapos, poco a poco llegó a sustituirla como materia prima principal. La deslibradora de madera se dió a conocer comercialmente en 1852, en 1867 se presentó en la Exposición Mundial de París y en 1870, cuando se instala la primera máquina de este tipo en España, ya era un sustana generalizado en la industria papelera.

mecánica, que procede simplemente de troncos desfibrados por métodos abrasivos.

Hoy en día la madera es la materia prima más empleada para la fabricación del papel (95%, según Browning, 1970); los árboles más empleados son las coníferas -picea, pino, abeto, etc.- y algunos de hoja caduca como el álamo, eucalipto, chopo, haya, entre otros¹.

Pero la madera se está convirtiendo en un bien escaso y se plantean problemas ecológicos; actualmente se tiende al empleo de especies de crecimiento rápido, como las plantas anuales y las maderas frondosas (castaño, abedul y eucalipto); también se fomentan las investigaciones sobre la genética del árbol, para aumentar su rendimiento<sup>2</sup>.

Existen grandes diferencias en la forma de obtención y en las características de los distintos tipos de pasta de madera, aunque todos ellos tiene unos procesos comunes:

Para la fabricación de papeles fuertes se prefiere el empleo de coníferas, pues sus maderas blandas proporcionan fibras de mayor longitud; generalmente las fibras de los árboles de hoja caduca son menos largas y resistentes, entre estos el álamo proporciona fibras cortas y blandas y la haya fibras cortas y duras. Para la pasta mecánica se emplea sobre todo picea y para la química picea, abeto, pino, haya y álamo.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El problema es que la madera de crecimiento rápido da lugar a papeles de peor calidad que la de crecimiento lento, y esto se constata incluso en ejemplares de la misma especie cultivados en climas distintos. Además, la celulosa de las maderas frondosas tiene fibras cortas, por lo que ocasiona papeles poco resistentes a la tracción, aunque esta característica se aminora si la madera se somete a un proceso químico alcalino.

La madera puede provenir de aserraderos (tablas o similares), pero lo más frecuente es que llegue en forma de troncos que deben ser decortezados antes de iniciar cualquier sistema de transformación en pasta papelera<sup>1</sup>. Cuando la madera está descortezada se convierte en pasta de madera mediante los citados sistemas químicos o mecánicos<sup>2</sup>.

El blanqueo se efectúa con productos que decoloran por oxidación, estos oxidantes deben ser baratos y no degradar excesivamente la celulosa, comúnmente se emplean productos clorados. Es importante destacar que aunque el blanqueo mejora la calidad estética de los papeles, cualidad muy importante para la realización de obras artísticas, tiene el inconveniente, como se explicará posteriormente, de poder degradar las fibras, afectando a su futura conservación.

Después de obtener la pasta de madera, se deseca y empaqueta o se mezcla y se refina igual que se vio en el papel de trapos.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Para este fin pueden emplearse las descortezadoras mecánicas, que constan de un disco con cuchillas sobre las que se presiona el rollizo, pero cada vez su uso se restringe más pues se desperdicia la mejor parte de la madera. Por esto se prefieren los tambores descortezadores, en los que se introduce la madera con agua y, al rotar, la corteza se desprende por la fricción de los troncos entre sí y contra las paredes del tambor, que van provistas de perfiles de hierro, a la vez que los desperdicios se eliminan con chorros de agua. En algunos casos, sobre todo para troncos pequeños, se puede usar sólo el agua a presión para conseguir el descortezado.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>En ambos casos la pasta obtenida puede ser demasiado oscura para fabricar determinado tipo de papeles por lo que suele procederse al blanqueo. La eliminación de la corteza es importante, pues de lo contrario se obtendría un papel más oscuro, irregular y cargado de impurezas.

# 3.1.2.1. La pasta de madera mecánica.

La pasta mecánica es escasamente empleada en la fabricación de soportes de dibujo y estampación, debido a su mínima resistencia al paso del tiempo, sobre todo en presencia de la luz, pero hoy en día muchos artistas, en busca de nuevas formas de expresión, no dudan en emplear soportes de cartón basto.

La mala calidad de la pasta mecánica se propicia tanto porque conserva todos los elementos naturales de la madera, entre los que se encuentran sustancias nocivas para la conservación del papel (hemicelulosas, resinas, y sobre todo lignina), como porque, debido a los sistemas de desfibrado, sus fibras son cortas, irregulares, quebradizas y duras, además de amarillear muy fácilmente y tener un color crudo propio de la madera que, en muchos casos, obliga a su blanqueo.

Pero el papel de pasta mecánica es muy barato, de buena absorción y opacidad, es suave y voluminoso y se puede emplear para la toma de apuntes rápidos en los que no existe ánimo de una futura conservación.

La pasta de madera puede ser blanqueada o cruda; con la pasta cruda se fabrica papel manila, de estraza, de periódicos, cartón, etc., y si se muele fina también sirve para papel de libros, pues tiene buen brillo y proporciona hojas opacas muy aptas para impresión. La pulpa blanqueada se emplea principalmente para libros baratos, en este caso el aspecto estético es mejor, y también se logra un papel opaco con muy buenas cualidades para la impresión, pero su resistencia queda bastante disminuida por la acción degradante de los blanqueadores.

La coloración de la pasta no sólo depende del blanqueo, sino también del tipo de madera empleada; se puede obtener una pasta bastante blanca sin recurrir al blanqueo, empleando la madera del falso abeto (pasta mecánica blanca); esto es muy importante a la hora de referirse a dibujos y estampaciones, ya que aunque el papel de pasta mecánica resulte inadecuado para fines que requieran mínimamente perdurar a lo largo del tiempo, al menos prescindiendo del proceso de blanqueo se habrá eliminado una de las posibles causas de alteración de este soporte.

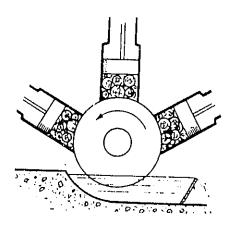
El proceso de obtención de la pasta mecánica pasa por las siguientes fases:

- Secado de los rollizos de madera durante un año, ya que la calidad de la pasta mecánica depende en gran parte del grado de secado de la madera, además de su tipo y edad.
- Limpieza, mediante la eliminación de la corteza y nudos de la madera1.
- Serrado de los troncos en trozos acordes al tamaño del desfibrador.
- Lavado con agua corriente para eliminar barro u otros residuos molestos.
- Desfibrado de los troncos, por abrasión en presencia de agua, contra una muela de arenisca, cemento, alúmina, carborundo, etc.

El desfibrado es la etapa que caracteriza la obtención de la pasta mecánica frente a otros tipos de pasta de madera; se realiza con prensas que

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> El descortezado se puede llevar a cabo con descortezadoras, en tambores descortezadores o a mano, con hachas y cuchillas, este último procedimiento es más caro pero se aprovecha más la madera.

empujan los rollizos contra una muela estriada que gira a gran velocidad, esta muela está instalada dentro de un tambor o caja de fundición y bajo ella hay un pozo donde cae el producto molido, conducido por el agua, que continuamente se vierte para arrastrar la pulpa, y evitar que se apelmace. Este modelo básico o molino primitivo está superado por los molinos con cámaras y los molinos de almacén; los molinos de cámaras¹ se emplean hoy en día en pequeñas empresas, al contrario que los molinos de almacén², que sirven para desfibrar grandes cantidades de madera.





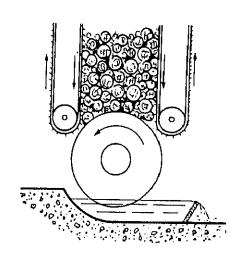


Fig. 37 - Desfibrador de cadenas

El molino de cámaras funciona con unas tres o cuatro cámaras anexas, situadas de forma radial a la caja exterior en la que se encuentra la muela, en estas cámaras se depositan los troncos que mediante martinetes hidraúlicos son presionados contra la muela, que suele medir unos 130 centímetros de diámetro con una anchura útil entre 60 y 120 cm. Los troncos se depositan paulatinamente en cada una de las cámaras, de modo que siempre hay una vacía que se está cargando, mientras que en otra se está acabando el proceso de desfibrado.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> En los molinos con almacén se emplean muelas más grandes, con un diámetro entre 150 y 170 cm y una anchura útil de 120 cm; sobre la muela se coloca un gran depósito, en el que se vierte directamente la carga desde el almacén, y los rodillos se presionan contra la rueda mediante el mecanismo anterior de martinete hidraúlico. Una variante de este sistema son los desfibradores continuos, donde la presión se realiza con cadenas de alimentación, cuyas paletas van aplastando los troncos contra la superficie de la muela, con este método se evita la interrupción del desfibrado, al tener que levantarse los pistones para cargar los troncos una vez desfibrados los anteriores.

El tipo de molino que se emplee para el desfibrado de los troncos no influye en las características de las fibras obtenidas, sólo supone una diferencia de coste por su mayor o menor rendimiento. La pulpa conseguida está en función del tipo de estriado de la muela, de la velocidad a la que gira, la presión, la temperatura y la alimentación del agua; dependiendo del proceso las fibras serán más cortas y finas o más largas y gruesas, con mayor o menor cantidad de astillas.

La pasta de madera conseguida con cualquier método de desfibrado que emplee una superficie abrasiva, como por ejemplo una muela, se denomina "pulpa mecánica de desfibrador" (Norma Española UNE 57.003-78)

- Separado de astillas; al caer la pulpa sobre el separastillas, tamiz o criba vibratoria o con aspiración, quedan atrapadas las astillas más gruesas y los pequeños trozos de madera, que vuelven al desfibrador. Para conseguir un papel de superficie uniforme es necesario que la pulpa que lo conforma sea lo más homogénea posible, lo que se logra eliminando todas las irregularidades de un desfibrado imperfecto, para ello no sólo basta con separar partes tan gruesas como las astillas, sino que hay que conseguir una pulpa fina, exenta de grumos e imperfecciones; de lo contrario no sólo se verá resentida la estética, sino que se pueden ver afectadas gravemente las cualidades de impresión del papel, al quedar puntos con diferente dureza y permeabilidad.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Si durante el destibrado se emplea poca agua y se reutiliza, se alcanza una temperatura de unos 30-40°C, de este modo se obtiene una pasta mecánica grasa destibrada en caliente. Esta es una pasta fina con 70-80° SR, con muchas fibras destibradas en sus extremos y fieltrable. Por el contrario, la pasta mecánica magra producida en hío, es decir, con más agua, da lugar a una pasta gruesa de unos 50-60° SR, poco fieltrable, lo que viene a traducirse en un papel menos fuerte (S.R. -Grados Shopper-medida de refino de las fibras).

- Clasificación de la pulpa; en los clasificadores se logra la homogeneidad de la pulpa; para esto la pasta de madera se introduce en un cilindro perforado en cuyo interior hay también planchas perforadas, sobre las que se impulsa la pulpa mediante el movimiento centrífugo y la impulsión de unas paletas que giran en el interior. La pulpa fina pasa a través de los orificios y sale del cilindro para llegar a las instalaciones de espesado, y la materia más grosera queda en el interior para luego ser descargada y llevada al refinador<sup>1</sup>. Con este proceso se eliminan las molestas imperfecciones que pueden quedar en la superficie de un papel, afectando a la estética del conjunto o dificultando una buena estampación<sup>2</sup>.
- Blanqueo, si se desea una pasta de mayor blancura. El blanqueo de la pasta mecánica suele hacerse con agentes reductores o con peróxidos, por lo que no se logra una blancura intensa sino sólo un abrillantamiento de la pasta.
- Espesado, en espesadores de tambor donde la pulpa se seca hasta dejarla con un 4% de humedad. Si la pasta se va a usar en el momento se transporta a la pila holandesa, si se quiere almacenar pasará al prensapastas.

Las partes gruesas que quedaron atrapadas en el clasificador se pueden volver a refinar. El refinador puede ser un molino con dos piedras horizontales, o un refinador cónico o de discos. Una vez refinada la pulpa vuelve a los tambores de clasificación.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> En ocasiones, en lugar de emplearse troncos de madera para la obtención de la pasta mecánica se emplean residuos de madera, como las astillas y el serrín, que pasan directamente al refinador para convertirse en pulpa; en este caso el producto obtenido se denomina "pulpa mecánica de refinador" (Norma Española UNE 57.003-78).

- Mezcla de la pasta mecánica, en la pila holandesa, con otras pastas y elementos (cargas de relleno, encolantes, colorantes, etc.), para que adquiera las características adecuadas para fabricar un papel determinado.
- Prensado de la pulpa, cuando en lugar de fabricar el papel directamente se almacena para un posterior uso. El prensado se realiza en la máquina prensapastas, donde mediante un mecanismo similar al de la fabricación del papel continuo la pulpa se transforma en cartones para su almacenamiento. En este caso lo que se obtiene es un rollo que se corta en hojas, las hojas se prensan en una prensa hidraúlica y finalmente se embalan.

Con la pasta mecánica se obtiene un rendimiento de la madera próximo al 100%, pues mediante este proceso lo único que desaparece de la madera es una parte insignificante que corresponde al material hidrosoluble; sólo se aprecia una pérdida palpable en la pequeña parte de madera que se desecha (astillas) al quedar atrapada en los tamices, por lo que el porcentaje de rendimiento varía en función del tipo de pasta o, más concretamente, de su fineza.

A pesar de la escasa calidad de la pasta mecánica se logran papeles aptos para la impresión, según el tipo de tratamiento de la pulpa, pero siempre teniendo en cuenta que, aunque sus cualidades visibles sean buenas, su calidad se resentirá con el paso del tiempo. Se pueden obtener papeles para impresión artística empleando madera de falso abeto de crecimiento lento, convertida en una pasta finísima al tratarse en el desfibrado con muelas de grano muy fino y seleccionada en clasificadores de 0,6 mm.; si se emplea madera densa de falso abeto con muelas finas y clasificadores con agujeros de

0,8 mm. se obtiene una pasta mecánica fina, apta para papeles de impresión de buena calidad y papeles de escritura; una madera buena de falso abeto desfibrada con piedras de grano medio y clasificada con agujeros de 1,1 mm. da lugar a una pasta mecánica normal, apta para la impresión en rotativas. Los demás tipos de pasta de madera, más groseras y pardas, son de calidad ínfima y no tienen ninguna aplicación en el mundo del dibujo o de la impresión.

Debido al constante encarecimiento de la madera, cada vez se está utilizando más la pasta mecánica para mezclarla con pastas químicas y aumentar el rendimiento por lo que no es extraño que dicha materia prima aparezca en cierto porcentaje en algunos de los papeles empleados con fines artísticos. Evidentemente esta circunstancia estaría acortando el periodo de permanencia y durabilidad de la obra de arte.

Actualmente se ensayan métodos de producción cada vez más rentables, como las pastas de rendimiento ultraelevado CTMP (pasta químico-termo-mecánica) con las que se obtiene una resistencia a la ruptura similar a la de la pasta química con un rendimiento superior al 90% del peso de la madera seca. Pero aunque la resistencia a la tracción se vea igualada, esta característica nada tiene que ver con la vida de los papeles fabricados con dicha pasta, que al mantener las sustancias nocivas de la madera, sobre todo la lignina, no guardan las mínimas condiciones deseables para la permanencia de una obra.

#### 3.1.2.2. La pasta de madera química

Para paliar el problema de la lignina y obtener métodos de desfibrado más adecuados, aparecen las llamadas "pastas químicas". Con este sistema se sustituye el desfibrado mecánico de la madera por su desintegración bajo presión y a elevadas temperaturas (140-180°C), con un licor de cocción que desfibra y ablanda la madera al disolver sus materias incrustantes o cementantes (lignina).

El papel obtenido con este tipo de pastas será de una calidad superior al papel de pasta mecánica pues, aunque fabricado también a partir de la madera, al eliminar de ésta sus factores nocivos, se puede obtener una celulosa bastante pura, con la que se logran condiciones de permanencia y durabilidad aptas para las obras artísticas. El único problema que plantean estas pastas es la necesidad de incorporar productos clorados si se desea una blancura determinada, con lo que al mejorar el factor estético puede mermar la calidad del soporte.

El empleo de diversos productos químicos para el desfibrado de la madera da lugar a dos procesos diferentes en la obtención de la pulpa: alcalino y ácido. En general, las pastas obtenidas por procesos ácidos ofrecen menor resistencia al tiempo que las pastas de proceso alcalino, debido a los efectos nocivos de los residuos de los productos químicos empleados en su manufactura.

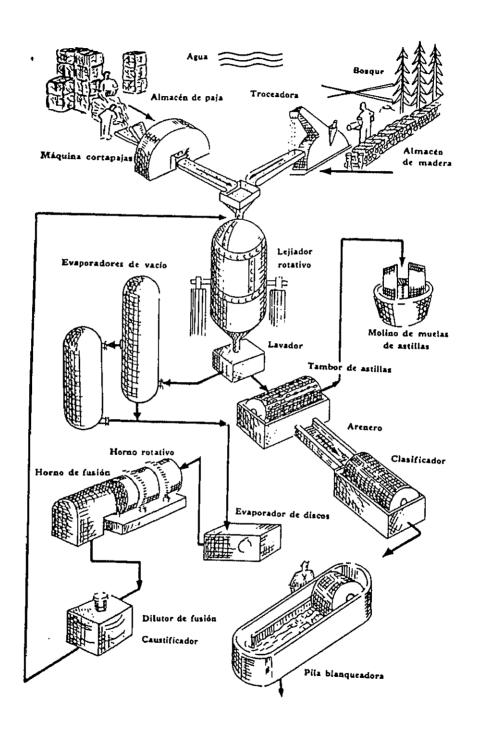
Los procesos químicos poseen en común los siguientes pasos:

- Descortezado de los rollizos. Se realiza igual que en el proceso de obtención de pasta mecánica.
- Cortado de los troncos en rajas de unos 2 cm, mediante máquinas cortadoras<sup>1</sup>.
- Cribado de los trozos de madera, en cribas rotatorias o de agitación horizontal<sup>2</sup>.
- Los trozos de tronco guardados en el almacén pasan, mediante una cinta transportadora, al lejiador o digestor.
- Lejiado o cocción con los productos químicos en calderas de presión (digestores). La fase de lejiado se realiza con calor; para lograr una temperatura elevada en los digestores se inyecta directamente en su interior vapor o se coloca una calefacción externa por la que circula el líquido del digestor. Los digestores suelen tener un movimiento rotatorio para facilitar la impregnación de la madera con los licores de cocción.
- Lavado con agua corriente, para separar de la pulpa los residuos del licor de cocción y las impurezas.
- Blanqueo opcional de la pulpa obtenida; con el blanqueo se eliminan también residuos de lignina y otras impurezas orgánicas, pero a costa de deteriorar la resistencia del futuro papel. El blanqueo de la pasta de madera química se suele realizar con gas cloro, hipoclorito, peróxidos o bióxido de cloro.
- Neutralización de los restos ácidos que puedan haber quedado en la celulosa, con sosa caústica o amoníaco.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Estas máquinas cuentan con una serie de cuchillas situadas al lado de aberturas por las que los fragmentos cortados caen sobre unas cintas trasportadoras, que los conducen hasta las cribas.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Los fragmentos de tronco pasan a una primera criba con gruesos orificios por los que caen astillas y nudos, que se depositan en una segunda criba más fina por la que pasa el material más menudo que cae a la tercera y última criba, donde se desprende el serrín. Los troncos se almacenan, las materias gruesas van a una picadora, y el resto se emplea como material de combustión.

Fig. 38 - Proceso de fabricación de la celulosa de paja y de madera según el procedimiento a la sosa o al sulfato (Keim)



La diferencia entre los distintos tipos de pasta de madera química estriba principalmente en el producto empleado como licor de cocción en el proceso de lejiado. El proceso ácido suele efectuarse con el sistema al sulfito o bisulfito y el proceso alcalino se puede realizar según dos tratamientos diferentes: a la sosa o al sulfato.

Los <u>procedimientos alcalinos</u> (Fig. 38), en general, permiten aprovechar mucho mejor las maderas duras, pues los sistemas ácidos no son capaces de convertir adecuadamente en pasta el corazón de algunos arboles (por ejemplo el pino, el abeto Douglas y el alerce).

El proceso a la sosa consiste en desintegrar la madera troceada al aplicarle sosa caústica con alta presión y temperatura (presión de vapor); da lugar a una pulpa voluminosa de buena opacidad pero, en la actualidad, su uso casi ha quedado relegado al desfibrado de maderas duras, porque con las maderas blandas se obtiene una pulpa de mejor calidad con el procedimiento al sulfato.

El procedimiento al sulfato<sup>2</sup> es, hoy en día, el procedimiento químico de obtención de la pasta papelera más empleado<sup>2</sup> (según Browning, un 75% de la pasta química). Se caracteriza por proporcionar un papel de elevada

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Este fue el primer sistema de desfibrado químico (1851), y aunque en un principio tuvo dificultades de aplicación industrial, en 1870 ya lo habían adoptado varias fábricas.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Este sistema apareció en 1879, cuando se comprobó que al añadir sulfuro de sodio a la sosa caústica se obtenía una pulpa de mejor calidad con menor gasto de productos químicos.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Aunque el licor de cocción es una disolución de sulfuro de sodio con hidróxido sódico, este tratamiento recibe el nombre de procedimiento al sulfato pues, para reducir pérdidas durante la manufactura, una vez gastado el licor de cocción, se concentra y quema, y se le añade sulfato de sodio para poder reutilizarlo.

resistencia y gran calidad, aunque a costa de un aspecto poco estético, debido a su coloración parda oscura. El rendimiento de la pasta al sulfato está estimado entre el 42 y 44% de la madera en bruto<sup>1</sup>.

La preparación de los troncos es común a los demás procesos: se cortan en troceadoras, y luego en las clasificadoras se separan los pequeños fragmentos, las astillas y el serrín.

Para realizar el desfibrado de la madera se introduce en los digestores con una mezcla de lejía negra (líquido digestor usado) y lejía blanca (líquido nuevo) y se somete a una temperatura de unos 170°C durante más o menos tiempo según la calidad de la pulpa².

Una vez obtenida la pulpa, se vierte desde el digestor a unas cribas, donde escurre el líquido, o se pasa a un lavador de vacío; los líquidos se recuperan para obtener la lejía negra, y la pulpa se desintegra en los separadores o clasificadores, finalmente se blanquea o se deja en crudo.

El blanqueo de la pasta al sulfato se realiza con hipoclorito, en fases consecutivas, para impedir que se formen concentraciones altas que podrían

En el proceso al sulfato es necesario emplear madera muy seca para que el lejiado sea uniforme, sin embargo el descortezado no es importante y sólo se realiza si se quiere obtener celulosa blanqueada de calidad.

El proceso puede durar desde 1 hora, para pastas muy duras, sólidas y difícilmente blanqueables, hasta 6 para las pulpas de primera calidad que van a ser blanqueadas. En la calidad de la pasta, además del tiempo, también influye la presión y la concentración de la lejía de cocción; cuanta menos lejía negra se emplee, más clara y blanqueable será la pasta. En general, a mayor presión, tiempo y concentración de la lejía blanca, mejor eliminación con el lejiado de las sustancias incrustantes (lignina), por lo que la pulpa tendrá un mayor grado de desintegración, menor dureza y más facilidad de blanqueo.

dañar las fibras. El proceso finaliza con dióxido de azufre, que aumenta la brilantez y ayuda a mantener la blancura<sup>1</sup>.

Existen tres tipos de pasta al sulfato según el grado de blanqueo: sin blanquear o cruda, semiblanqueada y blanqueada:

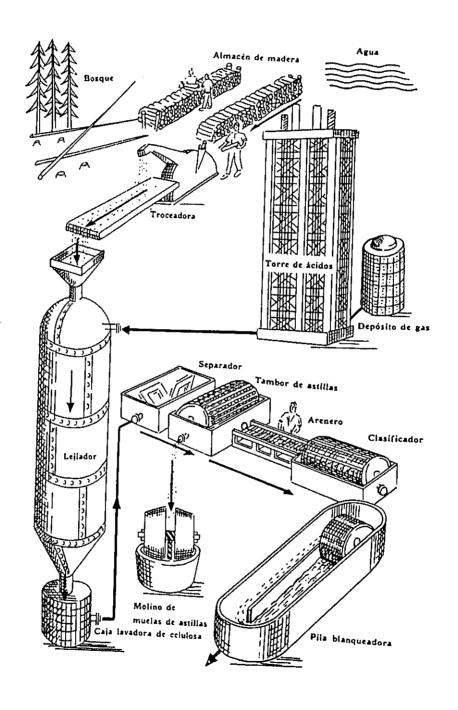
- La pasta sin blanquear o cruda sirve para producir el papel "kraft" de envolver, de color pardo oscuro, pero de gran resistencia mecánica y apto para la toma de apuntes a lápiz, carboncillo, sanguina, tiza, etc.
- Si la pasta sin blanquear se somete a una cocción más larga y a un lavado más profundo, da lugar a una pasta llamada "ligera y fuerte", de mejor color pero de menor resistencia que el papel kraft.
- Con la semiblanqueada, de mejor aspecto que la cruda, se puede fabricar la cartulina Bristol.
- La blanqueada sirve para papeles y cartones blancos y resistentes; ésta última puede recibir dos tratamientos, según se potencie, por un lado, la resistencia (papel bond, papel cebolla) o, por otro, la blandura y absorbencia (papel para offset).

Como puede verse, muchos de los papeles obtenidos con la pulpa al sulfato son aptos para los procedimientos artísticos.

El primer <u>proceso ácido</u> para la obtención de pasta papelera fue el sistema con ácido sulfuroso, patentado en los Estados Unidos en 1866, pero pronto fue superado por los procesos al sulfito o bisulfito (Fig. 39), donde la

Aunque son más caros, también se están utilizando el dióxido de cloro y el clorito sódico en sustitución del hipoclorito, ya que resultan menos perjudiciales para el futuro del papel.

Fig. 39 - Fabricación de la celulosa de madera según el procedimiento al bisulfito (Keim)



pulpa se obtiene por la cocción de la madera con una disolución bisulfítica (sulfito ácido). Hay dos importantes sistemas al sulfito según se emple el bisulfito magnésico (1872) o el bisulfito cálcico (1874).

En el proceso con <u>bisulfito cálcico</u> la madera se cuece entre 115 y 130°C, en digestores fabricados con material resistente al ácido y de tamaño más grande que en los sistemas alcalinos, pues la presión necesaria para obtener la pulpa es menor. La madera se introduce en el digestor y se bombea el licor de cocción, una solución de bisulfito cálcico y ácido sulfuroso que contiene exceso de dióxido de azufre, se calienta lentamente el digestor hasta 110°C durante dos horas para que el líquido penetre bien en la madera y no se queme la pasta. Finalmente se eleva con rapidez la temperatura, hasta unos 130°C, empleando un total de 6 a 9 horas¹.

Cuando acaba la cocción, la pulpa se vierte sobre un depósito de baldosas perforadas, por donde escurren los líquidos. Posteriormente, para eliminar los residuos, la pasta se lava con agua caliente en aparatos lavadores. Luego se eliminan los nudos en tambores de chapa perforada (separastillas) para hacerlos pasar a molinos de ruedas y preparar con ellos una celulosa de calidad inferior. La pulpa se termina de depurar y refinar con areneros y distintos tipos de clasificadores.

Cuando es necesario blanquearla se hace en dos etapas: primero con gas cloro y luego con hipoclorito. El tratamiento finaliza en los tambores

Cuando en lugar de fabricar papel se desea una pasta para otro tipo de fines, se puede calentar más la pulpa, eliminando más lignina, aunque a costa de atacar la celulosa y por consiguiente debilitar las fibras.

espesadores o en el prensapastas. El rendimiento de la madera con este proceso es de un 44-46%.

Uno de los métodos más empleados hoy en día es el <u>bisulfito magnésico</u> porque degrada menos la celulosa y provoca menos contaminación. Es un sistema por cocción de las astillas de madera en bisulfito magnésico, parecido al anterior; con este mismo fin también se puede emplear el bisulfito de amonio.

## Según el grado de blanqueo, hay 7 tipos de pastas al sulfito:

- Pasta blanqueada para libros, que es la menos fuerte pero la más limpia y brillante, con textura uniforme, apretada y blanda
- Pasta blanqueada Bond, fuerte, limpia y lustrosa, para cartulinas Bristol y papel de escribir
- Pasta cruda de fácil blanqueo, donde prima el aspecto sobre la resistencia, suave, absorbente, limpia y brillante
- Pasta cruda blanqueable, de buen aspecto, fuerte y limpia, usada para papeles de escribir
- Pasta cruda fuerte, de gran resistencia, para cartulina Bristol
- Pasta para periódicos, de resistencia media
- Pasta Mitscherlich, muy resistente pero con gran cantidad de hemicelulosa, sirve para fabricar papel glasine y papel resistente a la grasa.

Todos estos tipos de pastas pueden emplearse, con mayor o menor acierto, según las características deseadas, para la realización de estampaciones, o mejor aún de dibujos.

En contraposición a los sistemas alcalinos, los sistemas ácidos, y en especial al bisulfito, han sido muy empleados por ser procedimientos más baratos y de mejor rendimiento para la industria papelera; rinden un 18% más que los procesos alcalinos, pero el papel que se obtiene posee una duración menor (entre 50 y 100 años), además de obtenerse una celulosa menos sólida, más blanda y menos voluminosa que con los sistemas alcalinos.

En la actualidad la hegemonía de los sistemas químicos de obtención de la pasta papelera en medios ácidos está en decadencia y va siendo sustituida por los métodos alcalinos. Concretamente, la fabricación de la pasta al sulfito ya está generando problemas técnicos y de altos costes, derivados de su carácter contaminante y de las exigencias actuales de protección del medio ambiente.

Para contrarestar la menor calidad de los procesos ácidos, en comparación con los procesos alcalinos, se emplea el sistema al sulfito neutro (N.S.S.C.), en el que el licor de cocción es sulfito sódico con bicarbonato sódico, para que las reacciones de pulpación se desarrollen en una solución ligeramente alcalina. Sin embargo, este sistema sigue dando papeles de peor calidad que los métodos alcalinos.

### 3.1.2.3. La pasta semiquímica

Con la conjunción de los procedimientos de pasta mecánica y química se puede obtener la pulpa semiquímica; generalmente se logra ablandando mínimamente la lignina con una solución de sulfito ligeramente alcalina (sulfito neutro) o de sulfato más diluida ("kraft" semiquímico), hasta un grado que permita el fácil desfibrado de la madera, para poder terminar el proceso con la separación mecánica de las fibras.

Con este sistema, empleado a partir de 1925, la pasta obtenida es de mejor calidad que la pasta mecánica y más barata que la química, llegando a tener un rendimiento del 80% de la madera.

El blanqueo de la pulpa semiquímica se suele hacer con combinaciones de cloro e hipoclorito, en este caso el rendimiento de la pulpa baja hasta un 60%, pero sigue siendo más alto que en el caso de las pastas químicas blanqueadas (se sitúa entre el 38 y el 42%). Para no reducir el rendimiento de la madera con el blanqueo se recomiendan los peróxidos, pues oxidan los compuestos coloreados sin solubilizarlos.

### 3.1.2.4. La pasta de paja

Al contrario que la pasta de madera, que se logra con fibras de plantas leñosas, la pasta de paja se realiza con fibras que provienen de plantas herbáceas lignificadas<sup>1</sup>.

La celulosa de paja se prepara con procedimientos similares a la pasta de madera, pero se emplean preferentemente los métodos alcalinos (a la sosa y al sulfato), por el alto contenido de acido silícico de la paja.

Primero, la paja, que llega a la fábrica en balas, se criba y pasa a la sección de picado, donde se corta en trozos de unos 2 cm. Luego se limpia, eliminando el polvo, los residuos de grano y los nudos, pues son difíciles de desintegrar y es donde está concentrado principalmente el ácido silícico. Mediante ventiladores se lleva a los silos y de allí al lejiador, donde la paja se cuece a presión con hidróxido sódico (procedimiento a la sosa) o con hidróxido sódico mezclado con sulfuro sódico (procedimiento al sulfato). El rendimiento es mayor con el procedimiento a la sosa, pero se obtiene un mejor papel con el sistema al sulfato, pues se castigan menos las fibras.

Del lejiador se vierte a las fosas de lavado y de altí a las pilas lavadoras; pasa por un clasificador donde se retienen las impurezas gruesas, por el arenero donde se sedimentan las materias pesadas, y por los clasificadores finales finos donde quedan todos los pequeños nudos. Se refina, se espesa en cilindros tamiz, se blanquea, si es necesario, en la pila

El papel de paja fue el primer papel de fibras lignificadas, pero con la aparición de los métodos de desfibrado de la madera se convirtió en una simple anécdota, al resultar menos productivo. Aunque la paja puede dar un producto de buena calidad, el principal problema era su difícil desfibrado. Actualmente, una vez superados los problemas técnicos y debido al encarecimiento y la escasez de la madera, la paja, y más concretamente el esparto, son económicamente ventajosos para la obtención de celulosa. Hoy en día, dependiendo de los vegetales propios de cada país, se emplean principalmente la paja del centeno, trigo, cebada, esparto, arroz y bambú. Con el maíz y con la caña de azucar también se fabrica papel (por ejemplo papel de bagazo) pero de celulosa muy pobre por lo que sólo se emplean en países tropicales donde la escasez de árboles es acuciante.

blanqueadora con productos clorados y, en la máquina prensapastas se convierte en hojas o en rollos. El rendimiento final suele ser de un 45% sobre el peso de la paja en bruto.

Con el mismo procedimiento se hace la celulosa de esparto; con la que se obtiene un papel de buen volumen y buenas características de impresión.<sup>2</sup>.

La celulosa de paja proporciona un papel con uniformidad y transparencia, buen tacto, muy buen carteo y cierta rigidez, propia del encolado; sirve para papeles finos y semifinos. De todas las pastas obtenidas a partir de plantas herbáceas lignificadas (pajas), la pasta del esparto es la que tiene más parecido con la de trapos.

Por el contrario, la pasta de paja amarilla es el producto de peor calidad que se puede emplear para fabricar papel. Contiene todas las materias incrustantes de la paja, porque su tratamiento consiste casi exclusivamente en el ablandamiento, para poder convertirla en cartones o papeles de ínfima calidad, bastos y amarillentos que sólo pueden emplearse como papel de embalaje de calidad inferior o para el interior de cartones ondulados<sup>3</sup>.

Las diferencias con la fabricación de la celulosa de paja es que el esparto no se corta, sino que primero se eliminan las raíces y se desempolva, luego se desmenuza, y no se usan lejiadores rotativos, si no fijos, pues se formarían bolitas.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El lino, cáñamo, yute y esparto se pueden desfibrar con el procedimiento a la sosa y al cloro, que se basa en una primera desintegración de las fibras con sosa caústica mediante presión y vapor, para después de ser lavadas y clasificadas someterse a una solución acuosa de cloro, a un tratamiento alcalino con lejía de sosa, y finalmente a un blanqueo con hipoclorito cálcico o sódico. El cloro separa la celulosa de las fibras y los productos alcalinos permiten su desintegración, logrando que se disuelva la lignina. Con estos procesos se obtiene una celulosa de paja blanda y flexible.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Generalmente para estos fines se usa paja de centeno, de trigo o de maíz, que se desmenuza, se hierve con lechada de cal en lejiadores esféricos a presión de 3-4 atmósferas, se tritura en molino de muelas o en máquinas trituradoras, se diluye con agua y se refina ligeramente en pila holandesa. El (continúa...)

# 3.1.2.5. La pasta de papel recuperado

El papel recuperado es aquel que proviene del aprovechmiento de otros papeles, ya sea de recortes o excedentes sin entintado (papel reutilizado) o de cualquier otro uso anterior (papel reciclado)<sup>1</sup>.

La importancia del papel recuperado va aumentando día a día ante el encarecimiento de las materias primas y los problemas ecológicos, derivados tanto de la contaminación de las industrias de pasta de madera, como del agotamiento de los recursos naturales (Logan, 1989). Tanto es así que entre este tipo de papeles, el papel reciclado se ha convertido en bandera de muchos grupos ecologistas y está siendo empleado en la Administración Pública cada vez con más frecuencia<sup>2</sup>.

Sin embargo, aunque el papel reciclado pueda tener unas características que le hagan perfectamente apto como soporte de la escritura, de dibujos y de impresos, la verdad es que su resistencia al envejecimiento suele ser mínima, al llevar concentradas todas las sustancias nocivas propias de la pasta de

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>(...continuación) rendimiento sobre el producto es de un 70% y resulta un material muy económico pero desde luego nada recomendable como soporte de obras de arte.

Es importante aclarar que el llamado "papel reciclado" es un tipo de papel recuperado que, en sentido estricto, debe estar compuesto exclusivamente por fibras recuperadas de las que al menos un 51% sean de posconsumo (papel utilizado previamente con alguna finalidad) (Papelera Peninsular, s.a.). Las fibras recicladas también se mezclan con pasta fresca de madera para abaratar un papel que puede servir, por ejemplo, para libros. Con pasta reciclada pura se puede hacer papel de prensa, de escribir, de impresión semifino y capas de cartón intermedias en sustitución de la pasta mecánica.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> A este respecto son muy interesantes las Recomendaciones del Consejo de las Comunidades Europeas (Comunidades Europeas, 1981)

madera, junto con unas fibras excesivamente cortas que, en ocasiones, han sido sometidas a fuertes tratamientos químicos para eliminar su coloración grisácea. Es un papel inicialmente válido sólo para fines que no requieran una permanencia y durabilidad mínima, por lo que su empleo no resulta aconsejable en una obra artística.

También es verdad que la calidad de un papel hecho de fibras recicladas dependerá en gran grado del origen de estas fibras; es mejor un papel reciclado procedente de papeles sin pasta mecánica, que un papel de pasta mecánica.

Las antiguas fábricas de papel a mano también reutilizaban las hojas imperfectas, sumergiéndolas en agua hirviendo para que perdieran el encolado, y afinándolas en pilas holandesas o con mazos, para mezclar esta pasta con la pulpa de trapos. Aunque el papel así obtenido bajaba de calidad en lo que respecta al factor estético (aparecían pequeñas burbujas de los residuos de cola) la verdad es que en este caso sus propiedades eran casi tan buenas como las de la pasta de trapos, exceptuando la resistencia mecánica, que se vería afectada por el acortamiento de las fibras.

Hoy también se reutilizan los desechos de la propia industria papelera y de fábricas que emplean papel (recortes de imprenta, posteta, etc.). La pulpa de este papel reutilizado es siempre de mejor calidad que la del papel reciclado o de postconsumo.

Aunque sin llegar a alcanzar una mínima parte de lo que supone en la actualidad, el papel se ha recuperado prácticamente desde su invención (el primer papel no deja de ser un producto del "reciclado" de trapos viejos), prueba de ello es el "cartón árabe", único cartón existente hasta la aparición de las máquinas de papel continuo, que se fabricaba pegando hojas usadas hasta conseguir un grosor determinado.

Aunque comercialmente se distinguen 29 clases de papelote, muchas de ellas con subclases, en términos generales se puede hablar de cuatro calidades principales de papel recuperado:

- El papel desperdiciado en las fábricas de papel (recorte de bobinas, trozos rasgados, empalmes, etc)
- El recorte de gillotina, clasificado a su vez según el tipo de pasta y blancura
- El procedente de oficinas y de uso doméstico
- El papel impreso junto con el recogido en la calle.

Las dos primeras clases se emplean solas o en mezcla con otras pastas para papel de oficinas, uso escolar, impresos, etc. (papeles reutilizados) y las últimas calidades, o papel postconsumo, para papel de imprimir ordinario, papel de embalaje, estracillas y cartones grises (papeles reciclados).

En general para reutilizar el papel sólo es necesario ablandarlo; el papel se ablanda en molinos de muelas, generalmente de granito o lava, o en desfibradores, que hacen una acción parecida a las máquinas amasadoras, procurando en todo caso no aumentar el refino. Para papeles muy duros y encolados no basta con el ablandamiento, es necesario cocerlos en hervidores esféricos. Una vez desintegrado, el papel se depura o tamiza para eliminar cuerpos extraños (por ejemplo grapas) y finalmente se puede optar por refinarlo mezclado con agua.

Para fabricar papel reciclado de baja calidad se emplea el papel de periódico, que como no lleva apresto, se trata en una batidora industrial o

repulpadora, que lo convierte en pulpa, y sin desentintarlo sirve para fabricar cartón barato.

Para papeles reciclados de mejor calidad se requiere una cierta blancura, que sólo se logra eliminando la tinta del papelote. De lo contrario se obtiene una pasta de color negro-grisáceo, propio del papel reciclado<sup>1</sup>.

El sistema más moderno de desentintado de papeles impresos es el de flotación, por el que, mediante la adición de un mínimo de productos químicos y la inyección de burbujas de aire a la pasta diluida, se logra que la tinta se una a éstas y suba a la superficie, de donde es retirada por aspiración; su ventaja principal, además de la efectividad, es la de resultar escasamente contaminante para el medio ambiente.

El rendimiento de la pulpa de papel reciclado impreso suele ser de un 92% del peso de los papeles empleados en el reciclaje.

la primera máquina de desentintado apareció en 1774, facilitando el reciclado del papel y la obtención de pasta a partir de hojas usadas. Para desentintar los papeles impresos o manuscritos se usan peróxidos o soluciones alcalinas, tales como bicarbonato, cloruro de calcio, sosa caústica, carbonato sódico y detergentes. El problema de los productos muy alcalinos es que reaccionan con la madera, coloreándola de amarillo, por lo que se obtiene un papel amarillo-grisáceo. Para evitar esto lo mejor es ablandar el barniz de la tinta con una proporción débil de productos alcalinos y hacer un aclarado muy fuerte, con agua lo más caliente posible (luego la pulpa se puede blanquear con hipoclorito cálcico, se lava y se mezcla con otra pasta).

# 3.1.2.6. Tratamiento especial de las pastas para papeles transparentes¹

Los papeles transparentes han sido y son ampliamente utilizados en el campo del dibujo técnico, principalmente por la facilidad de realizar el calco desde un original, o de visualizar varios dibujos superpuestos<sup>2</sup>.

Los diversos tipos de papeles traslúcidos, empleados como soportes del dibujo, pueden agruparse, según su manufactura, en cuatro grandes grupos:

- 1- Los papeles que después de su fabricación logran la transparencia por la adición de sustancias grasas.
- 2- Los papeles que obtienen la transparencia por la "molienda fina" de la pasta papelera.
- 3- Los papeles que se vuelven translúcidos por un tratamiento con ácido sulfúrico.
- 4- Los papeles sintéticos (plásticos) o con adición de este tipo de fibras, que serán estudiados posteriormente.

Los papeles con adición de grasas se denominan según las Normas UNE (UNE 57.003-78) papeles de calco artificial. Son papeles translúcidos, impregnados de aceites, resinas o ceras, que se destinan al multicopiado de

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Este apartado es, casi en su totalidad, una adaptación del artículo aparecido en la revista Pátina (R. Viñas, 1991), a raíz de la Campaña de Verano de 1990 de la Especialidad de Conservación y Restauración del Documento Gráfico de la E.C.R.B.C.

Hasta hace unas décadas otra ventaja importante era la de poder ser reproducido instantáneamente sobre papeles con emulsiones fotosensibles, como el papel Marión o al ferroprusiato. El dibujo sobre papel translúcido se exponía a la luz con el papel fotosensible, que posteriormente se revelava mediante lavado o con vapores; podemos decir que este sistema es el antecedente directo de la fotocopiadora.

planos. Entre sus componentes destacan los aceites secos o similares, como el aceite de linaza, adormidera o nueces, la trementina, el barniz, la parafina, etc.<sup>1</sup>

Es evidente que todos los papeles de este grupo tendrán una alta tendencia a amarillear con el tiempo, debido a la oxidación de las sustancias grasas, lo cual puede ser también consecuencia de su posterior friabilidad.

A los papeles con "molienda fina", según Normas UNE, se les denomina papel calco natural, papel cristal (en inglés *glassine*) y papel similsulfurizado (comercialmente "papel manteca").

El papel de calco natural y el similsulfurizado logran la transparencia por el alto refino de la pasta papelera (refino graso) mediante pilas refinadoras, tipo pila holandesa, o con el refino cónico. En el caso del papel de calco natural, lo que se busca con este tratamiento es la transparencia, mientras que en el papel similsulfurizado -que no debe contener pasta mecánica (se fabrica con celulosa de madera obtenida con tratamientos químicos, como el sulfito o el bisulfito)- lo que se pretende es la resistencia a la absorción de grasas, pues, aunque también se emplee como papel de dibujo, su aplicación principal se encuentra en la industria del embalaje<sup>2</sup>.

El papel cristal es un papel como los anteriores, pero se diferencia por tener un menor gramaje y haber sido humectado y satinado intensivamente con

Dentro de este grupo de papeles se encuentran los papeles parafinados y siliconados, así denominados por la materia cubriente que los hace impermeables. No tienen auténtica aplicación artística, aunque se usen como materia auxiliar.

Los papeles de calco natural y similsulfurizado que se fabrican específicamente para la confección de planos y dibujos, deben ser flexibles, por lo que reciben un tratamiento adicional con suavizantes, que aumenta la transparencia, pero disminuye la resistencia a la tracción.

calandrias de rodillos de acero caliente. Esto le confiere una mayor lisura, transparencia y lustrosidad; es más blando, resiste también las grasas y vapores y, entre otros usos, se emplea para calcar.

Los papeles de "molienda fina" son más fuertes que los de calco artificial, amarillean menos y reciben mejor las tintas, pero tienen poca permanencia y durabilidad por la escasa longitud de sus fibras, prácticamente "gelatinizadas" por el exceso de refino, y por la adición de suavizantes, que, además de disminuir la resistencia, pueden ocasionar amarilleamiento, oxidación o friabilidad por la pérdida de sus cualidades.

Actualmente, el sistema de refino graso se está sustituyendo, para lograr papeles más resistentes y menos sensibles al doblez, por la adición de fibras sintéticas a pastas menos refinadas. Hoy en día, el llamado "papel vegetal" prácticamente ha sido sustituido por el papel de poliéster, que no es sino una lámina de esta resina sintética, de cualidades inmejorables desde el punto de vista de la conservación.

Finalmente, los <u>papeles sulfurizados</u> son aquellos originariamente porosos y sin encolado, que han sido tratados mediante baños con ácido sulfúrico<sup>1</sup> (también se pueden emplear otras sustancias, como el cloruro de zinc o soluciones cuproamoniacales).

La primera fábrica de papel sulfurizado data de 1861, su manufactura, a grandes rasgos, consiste en el baño del papel poroso en ácido sulfúrico fuerte, exprimido entre rodillos para eliminar el exceso de ácido, enjuague con agua fría y alisado entre cilindros de caucho. Se recomienda que pase después por otro baño de agua alcalinizada, pues, de lo contrario, los residuos de ácido podrían formar hidrocelulosa, provocando la desintegración del papel. Si éste está destinado al dibujo suele tratarse, finalmente, con una solución de sulfato de aluminio, que favorece la escritura.

El tratamiento con ácido hace que las fibras se hinchen, pierdan su estructura y se modifiquen químicamente, al transformarse la celulosa en dextrina de celulosa (gelatinización), adhiriéndose así las fibras con bastante intensidad. La transformación de las fibras por el ácido puede ir seguida de hidrólisis, que termina por descomponer la celulosa en glucosa, aunque esto no es lo normal en el proceso de fabricación del papel sulfurizado.

Por medio de la sulfurización el papel adquiere una alta resistencia a las grasas y a la humedad (incluso en ebullición) y se vuelve transparente, rígido y córneo, por lo que, para su uso como documento, debe flexibilizarse.

Un buen papel sulfurizado debería ser bastante estable, pues no se altera ni pierde sus cualidades, aunque se trate con agua hirviendo, soluciones salinas, caústicas o ácido en frío; también resite al ataque de microorganismos e insectos. Sin embargo, este papel está considerado como un gran problema desde el punto de vista de la conservación (Serrano y Barbachano, 1987), por las deformaciones que se originan cuando se humedece localmente, y por deficiencias en su manufactura pues, con frecuencia, contiene residuos de ácido que, como hemos visto, pueden ser fatales, además de la posible formación de glucosa. Los aditivos que se añaden para su flexibilización también pueden ocasionar problemas; por ejemplo la glicerina y el azúcar predisponen al enmohecimiento, y el cloruro de magnesio a la formación de ácido clorhídrico, con la consiguiente descomposición del papel.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> La dextrina de celulosa es una sustancia insoluble en ácidos o alcalis, que se hincha en presencia de agua, y de consistencia córnea en seco.

# 3.1.2.7. El papel sintético

Como muchos bienes de origen natural, las fibras vegetales para pasta de papel vienen padeciendo una progresiva escasez, lo que ha determinado la búsqueda de nuevas materias primas sustitutivas y métodos alternativos de fabricación.

Así, atendiendo a necesidades económicas y medioambientales ha surgido la necesidad del reaprovechamiento de fibras ya utilizadas. La respuesta más inmediata a este problema nace en forma de papeles recuperados: reutilizados y reciclados, en cierta medida "ecológicos".

Otra alternativa ha sido la sustitución parcial de la celulosa por fibras sintéticas obtenidas de desperdicios de la industria textil, como viscosas, poliamidas y poliésteres (Xuclá, 1982, 870) para pasar de esta propuesta a lo que son los soportes plásticos como sustitutos del papel.

Una vez más, la industria textil ha marcado las pautas de la industria papelera. Ante la carestía de fibras naturales para confeccionar telas, las fábricas textiles aceptaron las fibras artificiales, obtenidas a partir de la trasformación química de sustancias naturales: maiz, cacahuete, soja.

De la propia celulosa se obtiene el rayón (seda o hiladas de acetato de celulosa) y la viscosa, seda artificial, con la que también se prepara el papel celofán.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Resina termoplástica obtenida por la polimerización del estireno, y otros productos químicos (Voz poliéster, Diccionario de la RAE, 1992).

El uso más o menos habitual de las fibras semisintéticas favoreció el desarrollo de las fibras totalmente sintéticas, obtenidas a partir de polímeros no naturales, fruto de combinaciones de laboratorio. El nailon¹, en 1940, marcó el inicio de la industrialización de estos nuevos productos. Inmediatamente otras variantes, como el poliéster, aportaron materiales cuyas características podían ser diseñadas para obtener un material con cualidades específicas según las necesidades².

Dentro de los papeles, el papel vegetal (sulfurizado) y el celofán ya habían sido pioneros en lo que se refiere a papeles con una fuerte transformación química de la celulosa, con el objetivo de convertir las fibras en una pasta transparente.

Los primeros papeles fabricados con fibras sintéticas<sup>3</sup>, solas o mezcladas con fibras celulósicas, aparecieron hacia 1957, precisamente con el fin de mejorar cualidades que requerían algunos papeles especiales empleados en la industria (papeles filtros, papeles aislantes, etc.)<sup>4</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Material sintético de índole nitrogenada, del que se hacen filamentos elásticos, muy resistentes (Voz nailon, Diccioanrio RAE, 1992).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Para mayor información sobre el tema, desde el punto de vista de tipos, composición y utilidad de las resinas véase Oleesky y Mohr .

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Sobre clasificación y descripción de fibras sintéticas enpleadas en la fabricación del papel véase Kraemer (1973, 38 88).

En principio las fibras sintéticas son más caras, por lo que las mejoras que proporcionen al papel deben ser considerables para que compense su empleo, por ejemplo, el rayon mejora la porosidad y permeabilidad del papel al agua y a los líquidos (para papeles filtros) y las fibras vinílicas mejoran la porosidad y la propiedad de adherirse por calor (papel para bolsas de té).

Las fibras sintéticas pueden emplarse solas o mezcladas con fibras de celulosa, y en este caso se les puede adicionar todos los productos empleados en la fabricación de los papeles normales (cargas, adhesivos, etc.).

Hoy en día, y en múltiples aplicaciones, encontramos todos las composiciones desde el papel tradicional, a la lámina continua de material plástico, pasando por soportes realizados totalmente con fibras sintéticas ("telas no tejidas").

Desde las primeras aplicaciones industriales, las fibras sintéticas se han introducido fuertemente en el mundo del papel apto para la escritura y dibujo. Primero fue la aparición de papeles con alta resistencia para embalaje debido a la mezcla de fibras celulósicas y sintéticas (por ejemplo, sobres con fibras de vidrio) y la secuencia ha continuado hasta la comercialización de "papeles de regalo", plásticos en forma laminar con variantes en el grosor, color, textura, brillo/mate, flexibilidad/dureza, etc., que casi sigilosamente están ocupando el puesto del papel en su faceta de material para envolver. Actualmente, bolsas, cajas y "papeles" para regalos son de plástico, y también están plastificados muchos papeles y cartulinas que necesitan mayor consistencia o resistencia al uso.

Esta intromisión de los plásticos en un terreno tan propio del papel y cartonaje, es sólo una vía de popularización que nos hace habitual un elemento extraño. La otra vía, mucho más cuidada, es la perteneciente al dibujo técnico.

En el campo del papel como soporte artístico, el dibujo técnico es el que está siendo responsable de la entrada de estos nuevos materiales. La

inestabilidad de los papeles transparentes (celofán y papel vegetal) es la que ha dado la mano, primero a los acetatos, y hoy a los poliésteres como soporte del dibujo, en el intento de sustituir papeles frágiles e inestables por otros de mayor resistencia mecánica. En el campo del dibujo cartográfico también ha sido muy importante su alta estabilidad dimensional.

Era necesario un papel "vegetal" que reuniera mejores cualidades que el tradicional sulfurizado, de tan irregular comportamiento y malísima conservación. Y esta fue la oportunidad para que los plásticos ofrecieran una alternativa ampliamente aceptada en algunos sectores (sobre todo cartografía, diseño y arquitectura), aunque aún no generalizada a otros campos artísticos, por razones económicas y de costumbre. Este nuevo material es el llamado "papel de poliéster"; un soporte que estrictamente hablando no podría denominarse "papel", ya que es una lámina plástica en la que no interviene ningún tipo de fibra.

Una de las principales cualidades de este preparado es su gran permanencia y durabilidad frente a los agentes físicos, químicos y biológicos que agreden y destruyen el papel celulósico. Soporta los 200° C, es hidrófugo, inerte ante agentes externos, y de gran fortaleza mecánica; se le ha llegado a augurar, en condiciones normales, una estabilidad superior a los 500 años.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> El poliéster, resina termoestable totalmente sintética obtenida por mezcla del ácido terftálico y etileno, se expende en el comercio para una infinidad de aplicaciones con nombres muy variados. Se vende en rollo y láminas con cualquiera de las características que definían al papel celulósico: flexibilidad, brillo, dureza, opacidad, transparencia, regularidad de grosor y de superficie, resistencia mecánica al uso, etc.

En todo caso presenta dos importantes "inconvenientes": por una parte, la falta de absorbencia, cualidad que técnicamente podría alcanzar si la demanda comercial así lo exigiese, y por otra, el ser un producto de problemático reciclado.

Actualmente, la falta de porosidad y textura fibrosa -pues se trata de una pasta o amalgamiento sin intersticios- obliga a emplear tintas de secado muy rápido, elaboradas con disolventes de volatilidad controlada (glicoles) que permiten fijar los pigmentos, generalmente artificiales o sintéticos, a la superficie pulida, lisa, aspera, etc. de estos papeles.

El futuro más inmediato va a presenciar la lucha entre estos materiales plasticos, que por múltiples intereses están abriendo caminos de aplicación insospechada, propiciando el lento pero irreversible retroceso de algunos productos celulósicos, como es el caso del "papel vegetal".

Cada etapa cultural conlleva un soporte de la documentación gráfica acorde a la tecnología disponible. Precisamente en esta nueva tecnología, documental y artística (cine, vídeo, informática<sup>2</sup>, y también en la ya casi

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Como dato anecdótico, citar que en 1987 se publicó en Japón el primer libro sobre "papel de plástico", y que en este país, cuya industria petroquímica lanzó los primeros "papeles sintéticos", se editan publicaciones periódicas sobre este material.

Ciertamente no es factible un cambio inmediato de los soportes celulósicos a los plásticos. La aceptación de los materiales que definen una Era se produce a través de lustros. Recordemos la era de la piedra, de los metales, de la cerámica, etc; la era del papel que se inició hace unos dos mil años ha necesitado varios siglos para alcanzar la universalidad, y para lograr esta aceptación mundial ha tenido que superar las cualidades de otros soportes que se empleaban en las distintas areas geográficas en donde se sucedió su llegada. El pergamino, a pesar de todas sus virtudes sucumbió ante el papel de la misma forma que el papiro cedió al pergamino el primer puesto de soporte gráfico (Viñas, 1994a).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El llamado "arte por ordenador".

tradicional fotografía) es en donde las resinas sintéticas, y sobre todo el poliéster, están teniendo su verdadero "papel" como "soporte del arte".

Hoy en día los papeles sintéticos (sobre todo en el caso del poliéster) se consideran como garantía de conservación gracias a sus propiedades (Enciclopedia de Tecnología Química, 691):

- Resistencia a los ácidos
- Resistencia a los álcalis
- Gran estabilidad dimensional
- Gran capacidad aislante eléctrica
- Resistencia a la pudrición
- Resistencia al calor
- Poca degradación con el tiempo

Pero a pesar de todo, las fibras "de plástico" no son completamente inalterables; de hecho muchos materiales han demostrado una alta capacidad de degradación<sup>2</sup>, más peligrosa que la de los soportes celulósicos, por lo desconocida e inesperada<sup>3</sup>.

De la misma forma que el pergamino y el papiro son todavía soportes de relativa nobleza ante el papel y se prefieren para realzar acontecimientos, el papel, de forma progresiva, puede ir ocupando el mismo lugar de soporte tradicional por las razones ecológicas y técnicas expuestas. Pero ello no significa, en absoluto, su próxima ni absoluta desaparición, aunque sí parece evidente la lenta pero inapelable cesión del puesto que ocupa como material de primer uso en infinidad de aplicaciones.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Según Luis Avendaño "La acción oxidante, la radiación ultravioleta de la luz, la posibilidad de agentes agresivos ambientales, etc..., producen una degradación progresiva del plástico (rotura de cadenas), de efecto irreversible y con notables consecuencias negativas. La sensibilidad al envejecimiento es también variada en los diferentes plásticos..." (R.C.M., 1991, 5)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Recordemos, dentro del campo de los "plásticos celulósicos", el poder devastador del nitrato de celulosa, de alta capacidad de autodegradación, e incluso autocombustión. En términos mucho menores, el acetato de celulosa tampoco es completamente estable, por su capacidad de generar ácido acético.

Aunque las alteraciones sean menos frecuentes, también hay organismos y factores dañinos (radiaciones ultravioletas¹ entre otros) que no deben ser olvidados; de hecho, algunos microorganismos pueden afectar a varias sustancias plásticas. Los papeles con mezclas de fibras celulósicas y sintéticas son muy sensibles a cambios de temperatura rápidos por microcondensaciones de humedad, que pueden dar lugar a la proliferación de microorganismos. Aún así, el principal problema que plantean es la excesiva resistencia que puede generar problemas de imposibilidad de eliminación natural de los residuos (Kraemer, 1973, 14, 69 y 70).

Las radiaciones ultravioletas pueden alterar muchos materiales "plásticos", como es el caso del desprendimiento de cloro en el cloruro de polivinilio (Kraemer, 1973, 39).

#### 3.2. LOS ADITIVOS

Aunque la principal materia prima del papel son las fibras, y a ellas debe en gran parte sus características así como al tratamiento que hayan sufrido hasta llegar a convertirse en una hoja, muchas de las cualidades de un papel, como la absorbencia, textura, color o resistencia, están determinadas por otros productos que se adicionan a las fibras cuando están convertidas en pulpa, durante la formación de la hoja, o una vez que ésta ha finalizado. Estas sustancias, encolantes, colorantes, blanqueadores, cargas de relleno, antisépticos, etc. reciben el nombre de aditivos.

#### 3.2.1. Los encolantes

Una característica muy importante del papel, y concretamente de los papeles artísticos, es el apresto, conseguido mediante sustancias adhesivas o encolantes que evitan la excesiva absorbencia de la fibras al aglutinarlas entre sí. El apresto del papel, además de influir en el grado de esponjosidad, es el responsable del "carteo", ruido característico del papel encolado cuando se agita.

Las materias encolantes pueden incorporarse al papel mediante su adición a la pulpa, mezclándolas con la pasta papelera en máquinas batidoras (apresto de máquina, de pasta o encolado en masa), o ser aplicadas durante o después de la formación de la hoja (apresto de superficie).

El encolado en masa supuso un avance tecnológico que economizó el proceso de producción tradicional, al evitar el encolado de las hojas individualmente después de su formación, pero hoy en día el encolado de superficie puede introducirse en la formación del papel continuo como parte de la operación de la maquinaria, si se aplica por medio de rodillos a la hoja parcialmente seca, o introduciendo la tira del papel continuo en una solución con el adhesivo.

Desde el punto de vista práctico, el apresto de máquina se caracteriza por la aglutinación de todas las fibras de la hoja, mientras que en el apresto de superficie sólo reciben el encolado las fibras superficiales de una o de ambas caras; esto implica que los papeles encolados en superficie cambian sus propiedades de absorbencia si se raspan las fibras superiores (papeles poco aptos para el borrado).

El aglutinante más comúnmente empleado, pues se encuentra en la mayoría de los papeles actuales -exceptuando el papel pergamino, el de seda y los absorbentes-, es la colofonia, una resina obtenida de la turpentina que proporciona resistencia a la humedad, y que, en compañía del alumbre, se aplica generalmente como apresto de máquina. El alumbre es una sal del ácido sulfúrico que facilita la precipitación de la colofonia sobre las fibras; diluido en agua ocasiona una reacción ácida nefasta para la conservación del papel. La colofonia potencia este efecto, al ser un ácido débil fácilmente oxidable que propicia el amarilleamiento del papel. Por esta razón el encolado con colofonia no es aconsejable para papeles de uso artístico.

El almidón o engrudo vegetal es otro encolante del papel, se obtiene mezclando harinas con agua y se puede emplear tanto como apresto de máquina como de superficie. Aglutina las fibras de celulosa y retiene los rellenos minerales, dotando al papel de buen tacto y carteo.

La cola animal o gelatina se obtiene por cocción de restos animales (piel, cartílagos y huesos). Es uno de los encolantes más apreciados para papeles de dibujo, proporciona dureza al papel y mezclada con formaldehido actúa como impermeabilizante.

Su uso en máquina de batir es antieconómico, pues al ser muy soluble en agua se arrastra con ella y apenas se fija a la pulpa; este problema puede corregirse si se mezcla con alumbre. Aun así se emplea principalmente como apresto de superficie, sumergiendo la hoja acabada en una solución de cola.

En la inmersión, la gelatina penetra sólo en las capas exteriores, por lo que el papel encolado con cola animal (caso de la mayoría de los papeles de dibujo) no resiste la goma de borrar pues, al destruirse la capa exterior, la tinta es absorbida por las capas interiores que carecen de apresto. Si se quiere un papel resistente al borrado se debe combinar el encolado superficial a la gelatina con un apresto de máquina, por ejemplo con resina.

La caseína es otro apresto para papeles de calidad, que no se emplea en papeles baratos por su elevado costo; proporciona suavidad y puede actuar como aglutinante de pigmentos y estabilizador del apresto de colofonia.

Cuando se busca una buena permanencia, lo más aconsejable son las resinas sintéticas; dotan a los papeles de elevada resistencia, en estado

húmedo y seco, y de impermeabilidad. Otros adhesivos sintéticos son los polímeros orgánicos, como el alcohol polivinílico, la celulosa metílica y la carboximetílica; son bastante costosos pero de óptimos resultados.

### 3.2.2. Los blanqueadores

La blancura del papel ha sido una de sus cualidades más apreciadas, sobre todo desde la perspectiva como soporte artístico, pues permite que, a partir de su tonalidad clara, se llegue a todos los colores posibles sin interferencias y que se pueda emplear el fondo para plasmar las luces.

Tradicionalmente las fibras que constituían el papel eran las responsables de su blancura. La pasta de trapos blancos y limpios, el algodón y muchas otras fibras vegetales, entre las que se encuentran algunas maderas, proporcionan un soporte blanco o ligeramente ahuesado<sup>1</sup>. Pero la escasez de estas materias primas ha forzado el empleo de otras de coloración generalmente indeseable, que precisan la adición de blanqueadores, sustancias químicas capaces de eliminar los residuos coloreados de la pulpa del papel.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> El primitivo papel de trapos no precisaba la adición de productos blanqueadores, pues la tonalidad de las fibras era suficiente para obtener un grado de blancura deseable; sin embargo, para potenciar aun más esta claridad, existía la costumbre de secar los papeles húmedos al sol, en tendederos al aire libre (las radiaciones solares son capaces de blanquear ligeramente las fibras liberianas mediante su oxidación).

Es a partir del siglo XIX cuando, ante la escasez de trapos, comienzan a emplearse para la fabricación del papel trapos sucios y de color y, gracias al avance que supuso el que el cloro fuera aislado a finales del XVIII, comienzan a utilizarse elementos clorados para su decoloración

La forma más común de eliminar estos residuos es la utilización de agentes oxidantes, con el inconveniente de que al decolorar por oxidación también se oxida la celulosa de las fibras, potenciando el deterioro del papel. Por ello a la exigencia de blanqueadores económicamente rentables, debe añadirse el requisito de que la acción degradante del papel sea mínima.

El blanqueo de la pasta de trapos se suele realizar con la adición de hipoclorito a la pulpa; después se lava la pasta para eliminar los residuos clorados, que no desaparecen por simple enjuague, por lo que es necesaria la neutralización mediante sustancias anticloro. El problema es que generalmente este último paso no suele realizarse a la perfección, con la consiguiente merma de calidad del papel.

El primer blanqueo de pasta mecánica se realizó con agentes reductores, y se emplearon bisulfitos (bisulfito sódico o calcico) que podían provenir de los líquidos de desecho de sistemas químicos de obtención de la pasta papelera (sistema al sulfito)¹. Hoy en día lo más empleado son los peróxidos, de sodio o de hidrógeno, que aunque son más caros también son más eficaces; los peróxidos actúan oxidando la lignina y las materias colorantes y dan un papel opaco muy apto para libros. En general, estos sistemas de blanqueo no son muy fuertes y casi suponen un abrillantamiento del papel.

Actualmente se prefieren como blanqueantes reductores los hidrosulfitos de sodio y de zinc, pues dan una mayor blancura. Cuando se emplean hidrosulfitos se debe lavar la pulpa, pues sus residuos pueden reaccionar con colorantes que se añadan posteriormente al papel y corroer la maquinaria.

El blanqueo de la pasta al sulfato se realiza con hipoclorito durante varias etapas para evitar concentraciones altas<sup>2</sup>. Actualmente también se emplean como blanqueantes el dióxido de cloro y el clorito sódico, ambos son más caros pero blanquean más, degradando menos la celulosa; el dióxido de cloro se aplica al final del proceso del blanqueo con hipoclorito, y el clorito sódico se suele usar mezclado con hipoclorito en medio alcalino<sup>2</sup>.

El blanqueo de la pulpa al sulfito o bisulfito se realiza en dos etapas, empleando productos clorados (oxidantes)<sup>3</sup>.

Actualmente se aboga por el empleo de papeles poco blanqueados o sin blanquear, por cuestiones ecológicas -el blanqueo es un proceso muy contaminante- y de salud -cansa menos la vista al reflejar menos la luz-.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> El proceso se lleva a cabo clorando la pulpa con hipoclorito, manteniendo la disolución con un pH=8 mediante la adición de sosa caústica, luego la pulpa se lava en un lavador de vacío y se somete a una extracción alcalina mediante la adición de sosa caústica, se lava de nuevo y se repite todo el proceso, hasta que se realiza el blanqueo final. Después de ser tratada con el hipoclorito, la pasta se aclara y se somete a la acción del dióxido de azufre que hace que aumente la brillantez y se mantenga el blanqueo.

Al final de ambos procesos se emplea, igual que en el caso del blanqueo con hipoclorito, el dióxido de azufre..

En una primera etapa se clora la pulpa con cloro gaseoso en unas máquinas llamadas cloradores, luego se lava con lavadores de vacío y se le da un suave tratamiento alcalino con sosa cáustica muy diluida, vuelve a lavarse y finalmente se procede al blanqueo propiamente dicho mediante hipoclorito, al que se adiciona sosa caústica para mantener un pH=8. Utilizar hipoclorito directamente sobre la pulpa para realizar el blanqueo resulta antieconómico, pues al aplicar los productos clorados la pasta al sulfito toma un color rojizo que hace que se necesite más tiempo y más cantidad de blanqueador para llegar a un grado de blancura aceptable.

#### 3.2.3. Los colorantes

Como acabamos de ver, la coloración del papel suele provenir del empleo de fibras blancas o de color crudo, blanqueadas o no, pero este aspecto puede ser alterado por sustancias colorantes que aumenten la blancura o proporcionen otro color.

Independientemente del blanqueo, el color blanco de un papel puede acentuarse con el uso de pigmentos azules, rojos o violetas, que contrarresten su tono amarillento. Este sistema, por el que se logra una apariencia de blancura mediante colorantes y efectos de fluorescencia, recibe el nombre de blanqueo óptico. El blanqueo óptico suele ser insoluble en agua, pero es poco estable ante la luz.

En el ámbito del papel de uso artístico, también son bastante comunes los papeles de color, sobre todo en tonos beises y grisáceos, cuando se trata de aprovechar el tono de fondo para creaciones pictóricas.

Los tintes se suelen agregar a la pasta papelera o a la hoja durante su formación; en este último caso se hace pasar el papel a través de una solución de colorante (teñido por inmersión), o se aplica mediante una calandria (coloración y satinado del cartón). Lo más común para papeles de dibujo coloreados es el teñido de la pasta.

Los colorantes pueden actuar tiñendo las fibras por medio de una reacción química con la celulosa (colorantes directos), o pigmentándola, de modo que el colorante quede insoluble entre las fibras (colorantes ópticos), en este caso el papel queda coloreado, pero las fibras mantienen su coloración original.

Un tipo de colorantes ópticos son los colores térreos; se trata de colores naturales insolubles en agua, como los distintos óxidos de hierro; permiten tintes sólidos y baratos, pero cada vez están más en desuso. Para obtener tonos pardos también se emplea, entre otros, la tierra de Siena y de sombra.

Los colorantes más usados son los sintéticos orgánicos (colorantes de alquitrán); entre éstos destacan los colorantes ácidos, tintes bastante sólidos y con buena fijeza a la luz, pero que sólo se pueden aplicar en papeles encolados. Los colorantes básicos son poco sólidos, pero más baratos, y se puede aumentar su fijeza con ayuda de un mordiente. Finalmente, también existen colorantes de alquitrán insolubles en agua, con los que se pueden obtener colores muy resistentes a la luz.

# 3.2.4. Cargas de relleno

La mayoría de los papeles contienen "cargas de relleno", como la arcilla, talco, yeso, etc., que sirven para aumentar la lisura de las hojas de papel, su brillo, opacidad, flexibilidad, suavidad, volumen y receptividad a la tinta.

Las cargas de relleno se agregan en forma de papilla durante la preparación de la pasta papelera, quedan fijadas a las fibras por la propia fuerza absorbente del material fibroso, aunque suele ser conveniente el empleo de sustancias encolantes para evitar su arrastre por el agua.

Entre los rellenos más frecuentes para papeles de escribir, y por consiguiente para papeles de dibujo, se encuentran la arcilla, el talco -que proporciona un tacto suave-, el sulfato de calcio precipitado, y el yeso para superficies mates, planas y de buen carteo. Algunos de los rellenos también influyen en el color del papel, como el "blanco fijo", que confiere un aspecto de mayor blancura.

## 3.2.5. Antisépticos y fungicidas

La aplicación de determinadas materias, sobre todo encolantes, y las propias características de la celulosa, hacen que el papel sea especialmente sensible al ataque de hongos, bacterias e insectos. Para prevenir este daño, especialmente el de microorganismos, muchos papeles vienen dotados de antisépticos y fungicidas, como el borax, el naftol, carvacrol, timol, etc. La adición de estos productos puede ser tan importante para los papeles empleados con fines artísticos como cualquier otro elemento que potencie su duración a lo largo del tiempo.



# ABRIR CONTINUACIÓN CAP. I

