

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Ambiental

Papel y tintas en el Patrimonio Documental.
Evolución a largo plazo, deterioro y propuestas de
conservación y estabilización.

Autor: Rocío García Hernández

Tutor: Rosario Villegas Sánchez

Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Ambiental

**Papel y tintas en el Patrimonio Documental.
Evolución a largo plazo, deterioro y propuestas de
conservación y estabilización.**

Autor:

Rocío García Hernández

Tutor:

Rosario Villegas Sánchez

Profesor titular

Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Máster: Papel y tintas en el Patrimonio Documental. Evolución a largo plazo, deterioro y propuestas de conservación y estabilización.

Autor: Rocío García Hernández

Tutor: Rosario Villegas Sánchez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

*A mis padres, por todo su apoyo
y cariño incondicional*

*A Rosario, por toda su
comprensión y consejo*

*A Cristina, por su dedicación y
guía*

Resumen

La conservación de los acervos documentales resulta de gran interés e importancia para la correcta preservación de la herencia del pasado y memoria de las civilizaciones antiguas, buscando salvaguardar la excepcional información contenida en ellos para que pueda llegar a las generaciones venideras. Esta notoria relevancia se encuentra en contraposición con la gran vulnerabilidad y fragilidad que los mismos documentos papeleros exponen, provocando que su valor histórico y cultural se ponga en riesgo a causa de diversos agentes ambientales, antropológicos y del propio paso del tiempo. Por tanto, es fundamental promover su conservación y restauración empleando los tratamientos más apropiados para la preservación de su identidad cultural.

Los manuscritos andalusíes pertenecientes al Fondo Kati, en los que se reúnen una buena parte de la historia acaecida en Al-Ándalus, se encuentran englobados en este ámbito restaurativo y conservativo. Cuando en el año 1999 se dio a conocer la existencia de estos documentos y debido a su precaria situación, se hizo más que evidente la profunda necesidad de aplicar todas las medidas pertinentes de actuación para así lograr eliminar el gran riesgo de su desaparición definitiva.

En el presente proyecto se propone estudiar de manera detallada todas las características y particularidades integrales que forman parte de los manuscritos antiguos, ahondando en el conocimiento sobre los diferentes efectos que los factores de alteración producen en los mismos, además de evaluar y analizar de manera particular la gran repercusión que la presencia de las tintas ferrogálicas tienen en los documentos patrimoniales. Asimismo, se expondrá con detenimiento todas las pautas englobadas en la restauración y prevención conservativa de documentos antiguos, así como el desarrollo del diagnóstico y estabilización de las tintas ferrogálicas presentes en los mismos.

Abstract

The conservation of documentary collections is of great interest and importance for the correct preservation of the heritage of the past and memory of ancient civilizations, seeking to safeguard the exceptional information contained in them so that it can reach future generations. This notorious relevance is in contrast to the great vulnerability and fragility that paper documents themselves expose, causing their historical and cultural value to be put at risk due to various environmental and anthropological agents and the passage of time itself. Therefore, it is essential to promote their conservation and restoration using the most appropriate treatments for the preservation of their cultural identify.

The Andalusian manuscripts belonging to the Kati Fund, in which a good part of the history of Al-Andalus are gathered, are included in this restorative and conservative area. When the existence of these documents became known in 1999 and due to their precarious situation, the profound need to apply all the pertinent measures of action in order to eliminate the great risk of their definitive disappearance became more than evident.

In this project it is proposed to study in detail all the integral characteristics and particularities that are part of ancient manuscripts, delving into the knowledge about the different effects that alteration factors produce in them. In addition, evaluating and analysing in a particular way the great impact that the presence of iron gall inks have on heritage documents. Likewise, all the guidelines included in the restoration and conservative prevention of old documents will be explained in detail as well as the development of the diagnosis and stabilization of the iron-gall inks presented in them.

Índice

Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiv
1 Objetivo y alcance del proyecto	1
2 Introducción	2
3 Contextualización histórica	4
4 El papel como soporte	10
4.1 <i>Precedentes</i>	10
4.1.1 El papiro	10
4.1.2 El pergamino	11
4.2 <i>Orígenes del papel</i>	12
4.3 <i>Fabricación y composición</i>	13
4.3.1 Papel de trapos	13
4.3.2 Papel de pasta de madera	16
4.4 <i>Clasificación de las fibras de papel</i>	18
5 Tintas: elementos gráficos del documento	20
5.1 <i>Orígenes de la tinta</i>	20
5.2 <i>Composición de la tinta</i>	22
5.2.1 Componentes básicos	23
5.2.2 Componentes secundarios	23
5.2.3 Componentes específicos de las tintas ferrogálicas	24
5.3 <i>Preparación de las tintas ferrogálicas</i>	30
5.3.1 Extracción del ácido gálico	31
5.3.2 Formación del complejo colorido	32
5.4 <i>Tipos de tintas</i>	33
5.4.1 Tintas caligráficas	33
5.4.2 Tintas de impresión	38
5.4.3 Tintas pictóricas	39
5.5 <i>El éxito de las tintas ferrogálicas: su permanencia</i>	39
6 Alteraciones y efectos	41
6.1 <i>Causas intrínsecas de alteración</i>	41
6.1.1 Papel	42
6.1.2 Tintas	44
6.1.3 Aditamentos y formatos	47
6.2 <i>Causas extrínsecas de alteración</i>	47
6.2.1 Causas físico-mecánicas de alteración	48

6.2.2	Causas físico-ambientales y sus efectos	49
6.2.3	Causas químico-ambientales y sus efectos	51
6.2.4	Factores biológicos	52
6.3	<i>Causas catastróficas</i>	55
6.3.1	Incendios	55
6.3.2	Inundaciones	56
6.4	<i>Principales mecanismos de deterioro en la corrosión de la tinta ferrogálica</i>	57
6.4.1	Mecanismo de hidrólisis ácida de la celulosa	58
6.4.2	Oxidación de la celulosa en función de mecanismos radicales	59
6.4.3	Oxidación de la celulosa en función de mecanismos iónicos	63
6.4.4	Migración de los componentes inorgánicos de la tinta	64
6.5	<i>Principales efectos de la corrosión de la tinta</i>	65
6.5.1	Cambios de color de la tinta	66
6.5.2	Oscurecimiento y halos alrededor del trazo	67
6.5.3	Trasminación hacia el reverso y hojas contiguas	68
6.5.4	Reducción de la propiedad de mojado y pérdida de resistencia del papel: fragilidad y generación de fracturas	68
6.5.5	Carbonización del papel y pérdida de material	69
7	Restauración	72
7.1	<i>Criterios de restauración</i>	72
7.2	<i>Proceso de restauración</i>	74
7.2.1	Control	74
7.2.2	Examen material: identificación, análisis y diagnóstico	76
7.2.3	Fotografía	79
7.2.4	Medidas de protección del papel durante el proceso de restauración	80
7.2.5	Desinsectación, desinfección y esterilización	84
7.2.6	Limpieza	86
7.2.7	Desacidificación	92
7.2.8	Consolidación	95
7.2.9	Reparación de cortes y desgarros	97
7.2.10	Reintegración del soporte	98
7.2.11	Reintegración de elementos sustentados	100
7.2.12	Secado y alisado	102
7.2.13	Laminación	105
7.2.14	Encuademación	109
7.2.15	Montaje y encapsulado	110
8	Diagnóstico de documentos	112
8.1	<i>Diagnóstico de documentos con tintas ferrogálicas</i>	112
8.1.1	Desarrollo del modelo de análisis de riesgos para tintas ferrogálicas sobre papel	112
8.1.2	Grupos de riesgo	121
8.2	<i>Limitaciones en la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas</i>	126
9	Estabilización de documentos con tintas ferrogálicas	128
9.1	<i>Consideraciones previas a cualquier tratamiento</i>	128
9.2	<i>Tipos de estabilización</i>	131
9.3	<i>Principales ventajas e inconvenientes de cada tipo de estabilización</i>	132
9.4	<i>Estabilización química</i>	137
9.4.1	Estabilización química acuosa	137
9.4.2	Estabilización química no acuosa	142
9.4.3	Materiales, procedimientos y recomendaciones para la estabilización química con fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B	145
9.5	<i>Estabilización mecánica</i>	155
9.5.1	Estabilización mecánica acuosa	155
9.5.2	Estabilización mecánica no acuosa	156

9.5.3	Materiales, procedimiento y recomendaciones para estabilización mecánica con Klucel G® reactivado con solventes	158
10	Prevención y conservación	163
10.1	<i>Métodos preventivos de conservación</i>	164
10.1.1	Guardas y cajas de protección	166
10.1.2	Intercalado	167
10.1.3	Reprografía	168
10.1.4	Lineamientos y políticas	168
10.1.5	Monitoreo	169
10.2	<i>Controles de conservación</i>	169
10.2.1	Humedad y temperatura	170
10.2.2	Luz	172
10.2.3	Contaminación atmosférica	173
10.2.4	Contaminación biológica	174
10.2.5	Fuego	177
11	Conclusiones	178
	Referencias	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Adhesivos de laminación, T operación y disolventes</i>	108
Tabla 2. <i>Etapas de degradación (Tse & Waller, 2008)</i>	114
Tabla 3. Principales estrategias, tratamientos de estabilización y medidas de conservación preventiva para cada grupo de riesgo identificado	130
Tabla 4. <i>Ventajas y desventajas de la estabilización química acuosa (Odor, 2013)</i>	133
Tabla 5. <i>Ventajas y desventajas de la estabilización química no acuosa (Odor, 2013)</i>	134
Tabla 6. <i>Ventajas y desventajas de la estabilización mecánica acuosa (Odor, 2013)</i>	135
Tabla 7. <i>Ventajas y desventajas de la estabilización mecánica no acuosa (Odor, 2013)</i>	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Manuscrito Kuti con anotaciones</i> (Molins, 2013)	5
Figura 2. <i>Corán de Ceuta</i> (IAPH, 2013)	6
Figura 3. <i>Biografía del Profeta Muhammad (PSL)</i> (Ávila, 2018)	7
Figura 4. <i>Tratado de aritmética</i> (Ávila, 2018)	8
Figura 5. <i>Papiro egipcio extremadamente dañado</i> (Yubero, 2011)	10
Figura 6. <i>Legajo de pergamino</i> (Auñón)	11
Figura 7. <i>Molécula de celulosa</i> (Keller, 2019)	15
Figura 8. <i>Estructura de la lignina guayacilo (G) y siringilo (S)</i> (García, 2019)	17
Figura 9. <i>Exudación de goma arábiga del tronco de una acacia</i> (Cainelli, 2015)	23
Figura 10. <i>Nuez de agallas</i> (Webmeichant, 2020)	25
Figura 11. <i>De izquierda a derecha: moléculas del ácido gálico, ácido di-gálico y ácido galotánico</i> (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005)	26
Figura 12. <i>Vitriolo verde o sulfato ferroso</i> (Pedro, 2019)	27
Figura 13. <i>Vitriolo azul o sulfato de cobre</i> (Pedro, 2019)	28
Figura 14. <i>Mecanismo de formación del complejo ferrogálico</i> (Remazeilles, 2001)	32
Figura 15. <i>Palo de campeche</i> (Handmade, 2017)	35
Figura 16. <i>Trazos de tinta ferrogálica sobre soporte de papel</i> (Anxova, 2016)	36
Figura 17. <i>Escritos con tinta ferrogálica</i> (Odor, 2013)	40
Figura 18. <i>Esquema de las causas intrínsecas</i>	42
Figura 19. <i>Acción oxidante de las tintas ferrogálicas sobre el papel</i> (Trestaller, 2020)	46
Figura 20. <i>Ejemplo de mayor daño por corrosión en trazos gruesos</i> (Odor, 2013)	46
Figura 21. <i>Esquema de las causas extrínsecas</i>	47
Figura 22. <i>Abrasión, fragmentos y dobleces</i> (Grañén, 2010)	48
Figura 23. <i>Pérdida del soporte en una de las esquinas a causa de la humedad</i> (Asensi, 2014) (García, 2019)	50
Figura 24. <i>Toma de muestras de microorganismos del Tratado de Matemáticas del Fondo Kati</i> (IAPH, 2019)	52
Figura 25. <i>Documento dañado por hongos tras la acción del fuego y el agua</i> (Sánchez & Priebe)	52
Figura 26. <i>Libro dañado por la acción de insectos bibliófagos</i> (Ramírez, 2016)	54
Figura 27. <i>Manuscrito Fondo Kati dañado por insectos</i> (IAPH, 2018) (García, 2019)	55
Figura 28. <i>Documento quemado</i> (Orión, 2016)	56
Figura 29. <i>Estructura supramolecular de la celulosa</i> (Leirar, 2007)	57
Figura 30. <i>Esquema de la hidrólisis ácida de la celulosa</i> (Odor, 2013)	58
Figura 31. <i>Molécula de glucosa</i> (Remazeilles, 2001)	60

Figura 32. <i>Oxidación grupos C2 y C3 (Sistach, 1998)</i>	60
Figura 33. <i>Oxidación grupo C6 (Sistach, 1998)</i>	60
Figura 34. <i>Degradación de la celulosa por iones metálicos en función del mecanismo de Lewis (Bicchieri & Pepa, 1996)</i>	63
Figura 35. <i>Mecanismos de deterioro que intervienen en la corrosión de la tinta</i>	65
Figura 36. <i>En la parte superior se aprecian las tintas de hierro y cobre recién aplicadas tras su elaboración. En la zona inferior del soporte se observan los trazos de las tintas tras una espera de 10 días (García, 2019)</i>	67
Figura 37. <i>Halos alrededor de los trazos escritos (Odor, 2013)</i>	67
Figura 38. <i>Trasminación de la tinta (Odor, 2013)</i>	68
Figura 39. <i>Manchas por migración de la acidez del soporte (Grañén, 2010)</i>	69
Figura 40. <i>Carbonización del papel y pérdida del material (Tacón, 2011)</i>	70
Figura 41. <i>Esquema del proceso de degradación del papel causado por tintas ferrogálicas (Odor, 2013)</i>	70
Figura 42. <i>Principales efectos de deterioro a causa de las tintas ferrogálicas</i>	71
Figura 43. <i>Ejemplo de ficha expediente de una obra a restaurar (Orozco, 2019)</i>	75
Figura 44. <i>Ejemplo de ficha de restauración (anverso) (Orozco, 2019)</i>	76
Figura 45. <i>Reintegradora de papel ubicada en taller de Patrimonio Documental del IAPH (García, 2019)</i>	100
Figura 46. <i>Prensa de papel ubicada en taller de Patrimonio Documental del IAPH (García, 2019)</i>	103
Figura 47. <i>Documento encapsulado (Orozco, 2019)</i>	111
Figura 48. <i>Esquema del proceso de degradación del papel causado por tintas ferrogálicas (Odor, 2013)</i>	115
Figura 49. <i>Ligeros halos observados con luz de día y más acentuados bajo la luz UV (Odor, 2013)</i>	115
Figura 50. <i>Aplicación de la prueba con papel indicador de iones de hierro Fe^{2+} (Odor, 2013)</i>	117
Figura 51. <i>Aplicación de la prueba con papel indicador de iones de hierro Fe^{2+} sobre el documento húmedo (Odor, 2013)</i>	118
Figura 52. <i>Ejemplo de la Tabla de color para la prueba de iones de hierro (Fe^{2+}) (Odor, 2013)</i>	120
Figura 53. <i>Modelo de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Tse & Waller, 2008)</i>	123
Figura 54. <i>Modelo de opciones propuestas para el control de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Tse & Waller, 2008)</i>	124
Figura 55. <i>Tabla de opciones de tratamientos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Tse & Waller, 2008)</i>	125
Figura 56. <i>Posibilidades para la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas</i>	132
Figura 57. <i>Estructura molecular del ácido fítico (Neevel, 2002)</i>	139
Figura 58. <i>Utilización de acrílico transparente como soporte rígido durante el tratamiento acuoso de estabilización química (Odor, 2013)</i>	149
Figura 59. <i>Documento con corrosión de la tinta antes y después del tratamiento de estabilización mecánica no acuosa (Odor, 2013)</i>	158

1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

De acuerdo con la UNESCO, todos aquellos bienes que se encuentran dotados de valor de civilización deben ser considerados como testimonios directos del pasado y del presente. No solamente deberán ser apreciados por su valor histórico y artístico, sino que también tendrán que ser evaluados desde la perspectiva concreta que su identidad particular y original le ha otorgado a la sociedad. Por ello, la restauración y conservación de documentos patrimoniales resulta de gran importancia.

Con este fin, la caracterización y análisis de las propiedades mostradas por los papeles y tintas de los manuscritos antiguos permitirá conocer de una forma mucho más profunda y clara estos acervos documentales, para así poder tomar la mejor decisión en cuanto a lo que su tratamiento restaurativo y conservativo se refiere, evitando causar más daño de los ya existentes en las obras.

Con la realización de este proyecto se busca documentar y exponer parte de la información existente actual acerca de documentos históricos, evaluando los distintos efectos ocasionados por los diversos factores, tanto externos como internos, en los manuscritos. Asimismo, se analizará cómo se desarrolla todo el proceso de deterioro, así como las mejores opciones para paliar o eliminar dicha acción degradadora sin que llegue a afectar a las características originales del documento.

Adicionalmente, debido a la amplia utilización de las tintas ferrogálicas a lo largo del tiempo, también se expondrá toda la metodología correspondiente al diagnóstico y análisis de riesgos que estas tintas requieren y que ha sido desarrollada por diversos especialistas conocedores en profundidad de esta materia. Además, se indicarán y comentarán las diferentes alternativas viables para la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas, así como su aplicación, abarcando por igual los procedimientos del tipo químico como del tipo mecánico.

Y, finalmente, se recogerán todas las medidas de prevención y conservación más adecuadas para el material documental, aportando medidas específicas para aquellos documentos con tintas ferrogálicas.

El presente Proyecto forma parte de la investigación interdisciplinar acerca de manuscritos andalusíes que es llevada a cabo por el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH). Toda la información y conclusiones confeccionadas estarán enmarcadas dentro de la doble finalidad que contempla dicha investigación: prevenir y minimizar todos los posibles daños en los fondos documentales, y preservar la integridad física e intelectual de dicho patrimonio documental.

2 INTRODUCCIÓN

Tal y como se ha mencionado en el capítulo previo, la finalidad principal de este proyecto se basa en presentar, de manera clara y concisa, el análisis de los diversos efectos producidos a causa de varios factores ambientales en los materiales que conforman los manuscritos a través de la abundante, pero dispersa y escasa en español, literatura existente y ensayos realizados por numerosos investigadores.

En el proceso de conservación se tiende a distinguir entre dos áreas claramente diferenciadas, aunque complementarias entre sí. La primera línea conservativa contempla todas aquellas medidas orientadas a prevenir el deterioro de los documentos históricos, es decir, los procedimientos preventivos o preservativos. Por otro lado, la segunda área de conservación se enfoca en el tratamiento inmediato de las piezas alteradas por cualquier tipo de degradación o deterioro, conociéndose como medidas curativas o restauración. En consecuencia, es bastante evidente que el objetivo principal de toda estrategia de conservación es la medida preventiva, ya que con ello podrá minimizarse, en la medida de lo posible, la necesidad de recurrir a las medidas curativas y, por tanto, lograr la perdurabilidad de los acervos patrimoniales lo más originales posible (García, 2019).

Resulta incuestionable el papel fundamental que juega tener un conocimiento riguroso de las características materiales y estructurales del soporte (el papel), de los elementos gráficos que sustenta (tintas) y de su progreso a lo largo del tiempo, para poder llevar a cabo una correcta aplicación de unas y otras medidas de conservación. Igualmente, es indispensable conocer todas las causas y efectos que originan el deterioro del material y que se encuentran tanto en el entorno como en sí mismo.

Por ello, en lo relativo al deterioro y conservación, varios investigadores (principalmente Reissland y Neevel) se centran en el daño producido por tintas ferrogálicas con exceso de hierro (Fe^{2+}), así como su estabilización por tratamientos con fitato de calcio (Neevel & Mensch, 1999). En publicaciones más actuales se exponen tanto las ventajas como desventajas de dicho procedimiento, por lo que resulta de gran utilidad a la hora de poder contar con la información necesaria para elaborar la propuesta más conveniente para cada caso particular (Neevel, 1995).

De manera general, las afirmaciones más generales acerca de estas tintas son (Odor, 2013):

- La mayoría de las tintas ferrogálicas muestran un exceso de sulfato ferroso en su composición, lo cual se traduce en un exceso de iones de hierro.
- El deterioro de las tintas ferrogálicas con exceso de hierro se conoce como *corrosión de la tinta*. Dicha degradación contempla todos los mecanismos de oxidación e hidrólisis ácida de la celulosa del soporte de papel, los cuales son catalizados por la presencia de iones metálicos y ácido sulfúrico, ambos aportados por la propia tinta.
- La aplicación de diferentes tratamientos acuosos en documentos patrimoniales con exceso de hierro puede provocar un deterioro irreversible a largo plazo si no se combina con una adecuada estabilización.
- El tratamiento acuoso de estabilización con fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B es, en la actualidad, el más eficaz y oportuno para el deterioro por corrosión de tintas ferrogálicas. No obstante, deberá tenerse en cuenta las desventajas que trae consigo este procedimiento y sopesarlas antes de ejecutar cualquier acción restaurativa.

Por tanto, teniendo presente lo indicado anteriormente, es indudable que todo restaurador o personal

a cargo de la conservación de documentos patrimoniales debe tener un buen conocimiento de los diversos procedimientos, investigaciones y resultados, con el fin de impedir una mala práctica de los mismos, desembocando en repercusiones serias para el Patrimonio Documental.

3 CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA

La saga de la familia Quti o Kati (adaptación fonética producida cuando se trasladaron a suelo africano) se remonta a la época de los godos. Los Quti descienden de Witiza, penúltimo rey godo, cuya muerte desató la lucha por la sucesión entre el bando que apoyaba a Agila (hijo de Witiza) y el bando que favorecía a Rodrigo, el cual fue respaldado por la nobleza goda en su mayoría. Asimismo, en medio de todo este clima de guerra civil, tuvo lugar la invasión musulmana de Tariq en el año 711 y, con ella, el fin de la monarquía visigoda (García, 2019).

La llegada de los musulmanes al poder dio pie a que los descendientes de Witiza se convirtieran al islam, cambiando su apellido por el de Quti. El clan familiar pasó de ser mozárabe (cristianos que vivían en zona dominada por árabes) a ser musulmán, para posteriormente convertirse en mudéjar (musulmanes asentados en suelo cristiano) al tener lugar la reconquista. Los descendientes de Witiza se asentaron en Toledo, Córdoba y Sevilla, aportando desde su incorporación a la cultura árabe célebres figuras en filología, historia, medicina, etc. (Diadié, 2005) (García, 2019).

La reconquista de Toledo por Alfonso VI, en el año 1085, no afectó en un principio a la posición prominente que albergaba la familia Quti, la cual continuó desempeñando los oficios que tradicionalmente había estado llevando a cabo. Sin embargo, la tolerancia que los cristianos procesaban a los conversos y a los practicantes de otras religiones fue mermando paulatinamente a tenor de las circunstancias políticas de la época. Las rencillas entre Enrique IV y su hermano, el príncipe Alfonso, fueron motivo de desacuerdos entre el rey y la nobleza. Y entre dichos sucesos, los cristianos más conservadores comenzaron a perseguir a los conversos y a los que no practicaban el cristianismo, lo cual desembocó en un inevitable enfrentamiento en 1467, conocido históricamente como el “incendio de la Magdalena”. A partir de ese momento, el sosiego y la tranquilidad desapareció para aquellos que no podían acreditar la llamada “limpieza de sangre”, como tampoco para los judíos y musulmanes que discretamente seguían practicando su religión (García, 2019).

Debido al cariz que estaban tomando los acontecimientos, Ali Ben Ziyad al-Quti tomó la decisión de abandonar Toledo en 1468 y buscar un lugar nuevo en el que establecerse, lo cual dio inicio a un exilio que creía temporal, con un poco de oro y con su tesoro más preciado: su biblioteca. Dicha biblioteca se encontraba conformada en ese momento por 400 manuscritos en árabe, castellano, aljamiado y hebreo, de los cuales muchos han logrado sobrevivir insólitamente durante estos seis siglos de destierro en Tombuctú. El valor de esta colección resulta invaluable para la historia, ya que fueron muy pocos los manuscritos andalusíes que escaparon a las piras inquisitoriales. Además, los volúmenes que llevó consigo Ali Ben Ziyad se encontraban colmados de notas marginales en las que pueden apreciarse el precio, la fecha, el lugar de compra de los distintos ejemplares e incluso información valiosísima que permite reconstruir la crónica de su familia, de su exilio y de su biblioteca (Ramírez, 2002) (García, 2019).

Tal y como señalan Diadié y Pimentel, el fondo Kati integra dos bibliotecas singulares: por un lado, se encuentra aquella que fue escrita por los distintos autores y, por otro, la que comprende las múltiples anotaciones realizadas por las sucesivas generaciones de la familia. Asimismo, cada volumen era escrupulosamente registrado, tal y como suele llevarse a cabo en las bibliotecas actuales, y se tomaba nota de cada autorización concedida para ser estudiado o traducido, así como de cada préstamo realizado, lo cual ha sido de vital importancia para permitir reunificar la biblioteca en la actualidad (García, 2019).

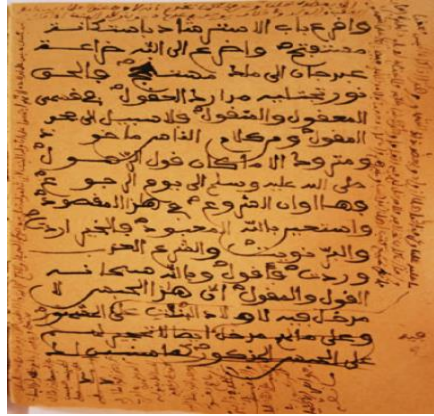


Figura 1. *Manuscrito Kuti con anotaciones* (Molins, 2013)

El viaje de Ali Ben Ziyad hasta Tombuctú se prolongó algo más de dos años. En todo ese tiempo llegó a recorrer parte de la península Ibérica, casi todo el Magreb, peregrinó a La Meca y atravesó el Tanezruf para llegar a Walata, la antigua Biru, dando lugar a que durante su viaje agregara numerosos manuscritos a su estimable colección (Diadié, 2005) (García, 2019).

En 1471 Ali Ben Ziyad se estableció en la ciudad de Gumbu (denominada posteriormente con el resonante nombre de Tombuctú), ciudad caravanera situada en la curva del Níger que se hizo famosa por servir de convergencia al tráfico mercantil transahariano y ser punto de enlace entre el África negra y el Mediterráneo. Ali Ben se dedicó al comercio y a continuar en el enriquecimiento de su biblioteca con la compra de volúmenes singulares, hasta que contrajo matrimonio con la princesa Kadiya Bint Abudakar Sylla, sobrina del rey suní Alí “El Grande”. A partir de este enlace el fondo Kati se enriqueció notablemente, ya que la historia de la biblioteca y de la familia se encuentran íntimamente ligadas a los avatares del tiempo y de la historia que tendrían lugar en el África subsahariana, incorporando a la colección los diversos manuscritos del cuñado de Ali Ben Ziyad, el emperador Askia Muhammad; creando así la primera biblioteca del África negra (Guadalupe, 2007) (García, 2019).

La ciudad de Gumbu era de vital importancia en dicha época, no sólo por ser un centro comercial de oro, la sal y esclavos en el África occidental, sino también por su gran actividad y desarrollo cultural. Las caravanas que viajaban a Tombuctú pronto vieron lo provechoso que resultaba el comercio de los libros y no tardaron en incluir esta preciada mercancía entre sus productos. De esta forma, llegó a ser tan importante este comercio que los mercaderes de la época empleaban libros como moneda de cambio. Los copistas elaboraban numerosas copias de los textos que arribaban a Tombuctú y que procedían de Al-Ándalus, Arabia o El Cairo. La gran demanda de ejemplares permitió que se crearan numerosos talleres que se dedicaban a copiar libros y manuscritos. El último de ellos cerró en el siglo XX, cuando la llegada de las fotocopiadoras provocó que el negocio dejara de ser rentable (Naranjo, 2013) (García, 2019).



Figura 2. *Corán de Ceuta* (IAPH, 2013)

El primer Quti nacido en suelo africano, hijo de Ali Ben Ziyad, fue Mahmud Kati. Se le consideró un importante intelectual, el cual enriqueció considerablemente la biblioteca heredada de su padre y desempeñó puestos de importancia en la corte de los Askia, actuando como ministro de finanzas y gobernador. Asimismo, la labor intelectual que llevó a cabo se desarrolló en numerosas facetas, entre las que destacó la introducción en el África subsahariana de la literatura médica por medio de su tratado sobre enfermedades y operaciones oculares (García, 2019).

Mahmud Kati trasladó la biblioteca familiar de Tombuctú a Tindirna (segunda ciudad más importante de la región, a la cual viajó cuando fue nombrado juez supremo) y la engrandeció notoriamente a lo largo de su vida, no sólo con la adquisición de nuevos volúmenes, sino también con sus observaciones personales ya que en los márgenes de los manuscritos iba anotando los acontecimientos históricos más relevantes del momento. A su muerte, en 1593, pidió en su testamento que sus descendientes velaran por mantener unidas la biblioteca y la familia, entrelazando así el destino de su estirpe y de sus libros en una alianza incuestionable que las generaciones posteriores se han encargado de cumplir a pesar de las numerosas dificultades encontradas en el transcurso de los años (Diadié & Pimentel, 2004) (García, 2019).

Es importante destacar que dos años antes de su muerte, Mahmud Kati vio como el Imperio Songhay (sur del Sáhara) sucumbía bajo las armas de un ejército compuesto por moriscos, marroquíes y renegados cristianos. Este acontecimiento obligó a la familia a apartarse del poder y a emprender un nuevo exilio a Kirshamba, una aldea remota situada en la desembocadura del río Níger, donde las circunstancias políticas les obligaron a cambiar sus oficios tradicionales de juristas, abogados y gobernantes por el de agricultores. Como es lógico, la biblioteca viajó con ellos y, para preservarlas de la intolerancia que nuevamente se había enseñoreado en el país, decidieron repartirla entre las distintas ramas familiares que vivían dispersas a lo largo de la curva que describe el río Níger, antes de descender hacia el golfo de Guinea. Lamentablemente, algunos documentos se perdieron, pero con esta decisión se logró que la mayoría de los volúmenes sobrevivieran hasta el día de hoy (García, 2019) (Guadalupe, 2007).

La biblioteca continuó con su accidentado periplo y de la mano de Mahmud Kati II viajó hasta la ciudad maliense de Yennée donde murió el patriarca en 1648, no sin antes transmitir el legado familiar a su descendencia. Ibrahim, uno de los hijos de Mahmud II, compró a sus hermanos los ejemplares heredados y dedicó su vida y fortuna a adquirir nuevos manuscritos para incrementar y enriquecer la biblioteca. Todo el fondo fue trasladado a Thié, pueblo cercano a Yennée, en donde permaneció hasta que falleció Ibrahim, momento en el que volvió a ser dividida entre los herederos (García, 2019).

El fondo Kati prosiguió disperso hasta que un nieto de Ibrahim, Muhammad Abana, volvió a dedicar parte de su vida (último tercio del siglo XVIII y principios del XIX) a viajar por Gumbu, Kirshamba y muchos otros pueblos desparramados por las orillas del Níger con el objetivo de visitar a sus familiares y comprarles los libros que tenían en su poder. En las anotaciones de los ejemplares dejó constancia de lo que le habían costado, destacando el precio singular de algunos de ellos, ya que

tuvo que intercambiar algunos manuscritos por vacas o camellos. A medida que iba recuperando los libros los enviaba a Gundam, una aldea cercana a Tombuctú, donde vivían su mujer e hijos (García, 2019) (Ramírez, 2002).

A principios del siglo XIX, después de un titánico esfuerzo, logró reunificar la biblioteca, pero la sombra de la intolerancia y del racismo volvía a cernirse sobre la región. La familia se vio forzada nuevamente a tomar una decisión difícil. En los primeros años del siglo surgió en el norte del Níger la dictadura de Sheik Amadou, quien instauró un régimen teocrático y represivo que se fue extendiendo progresivamente por el territorio de Mali. Los hombres de Amadou perseguían a los que no podían acreditar la limpieza de la sangre y decomisaban los libros que encontraban a su paso para quemarlos y borrar la memoria de los pueblos del Níger. En 1810, se encontraban a las puertas de Gundam (ciudad donde vivían los Kati) por lo que el tío de Muhammad Abana viendo que sus preciados libros se encontraban en peligro decidió reunir al clan familiar y dispersar nuevamente la biblioteca que acababan de reunir entre los distintos miembros de su casa. No obstante, los persecutores lograron apoderarse de algunos ejemplares que no habían logrado ser escondidos. Desde ese momento, los miembros de la familia Kati tomaron la decisión de adoptar el apellido materno con el fin de camuflarse y pasar desapercibidos, lo que explica que los descendientes tengan distintos apellidos, como es el caso de Ismael Diadié Haidara, el último de los Kati, que ha hecho posible rescatar la biblioteca de la arenas del desierto para que pueda llegar toda la leyenda y sabiduría a la actualidad (Sánchez, 2003) (García, 2019).



Figura 3. *Biografía del Profeta Muhammad (PSL)* (Ávila, 2018)

A pesar de encontrarse perdida desde 1810, la fama de la biblioteca Kati no se esfumó y fueron muchos los que anhelaron poseer sus libros. Los franceses, que conquistaron la curva del Níger a finales del XIX, se dedicaron a la búsqueda del fondo desde el primer momento que llegaron a la región. Como es evidente por la historia, nunca pudieron encontrarlo, ya que jamás se imaginaron que estaban ocultos en los desvanes de unas humildes casas de barro en los modestos poblados del delta del río, donde los descendientes de Ali Ben Ziyad vivían como modestos agricultores y ganaderos. La familia se mantuvo oculta bajo los apellidos maternos cerca de doscientos años y la existencia de la biblioteca se fue perdiendo entre las brumas de la leyenda, de la que sólo podría ser rescatada, como señala Luis Temboury, por alguien que tuviera la formación requerida (García, 2019).

El momento propicio llegó por fin en el siglo XX, de la mano de un bisnieto de Muhammad Abana. Diadié Haidara decidió llevar a cabo la reunificación, tarea a la que dedicó parte de su vida. Sin embargo, dicha actividad quedó inconclusa cuando la muerte le sorprendió en 1995, por lo que sería su hijo, Ismael Diadié, quien terminaría con dicho acometido (García, 2019) (Temboury, 2009).

Tras una perseverante tarea de búsqueda y recopilación, Ismael Diadié sorprendió a los bibliófilos del mundo entero con la revelación del tesoro mejor guardado de Tombuctú, el fondo Kati, el cual se creía perdido para siempre desde la desaparición de Muhammad Abana en 1810. Diadié solicitó a las autoridades españolas su ayuda para restaurar los manuscritos, los cuales se encontraban en mal

estado, necesitando de una precisa catalogación y una adecuada preservación. Los distintos volúmenes se encontraban amontonados en su casa y guardados en arcones y sacos de cuero en condiciones poco apropiadas para su conservación. La noticia resultada totalmente increíble, por lo que se decidió recurrir a la opinión de expertos para avalar la autenticidad de los manuscritos. El profesor de Historia de las Religiones John Hunwicj, de la Universidad de Illinois, se desplazó hasta Tombuctú y atestiguó la veracidad del fondo. El descubrimiento llevó a algunas instituciones internacionales a proponer ofertas de compra a Diadié, rechazándolas todas por dos motivos principalmente: el primero de ellos se basaba en que la familia no quería desprenderse de la biblioteca, y algunas ofertas requerían que el fondo abandonara Tombuctú, y el segundo motivo se centraba en el deseo de los descendientes de Ali Ben Ziyad de llegar a un acuerdo con la institución española, ya que era el país de origen de sus antepasados (Guadalupe, 2007) (García, 2019).



Figura 4. *Tratado de aritmética* (Ávila, 2018)

Fue en mayo del 2002 cuando la Junta de Andalucía le entregó un documento a Diadié en el que se le informaba de la concesión de una subvención para comenzar los trabajos. La tarea más urgente era la construcción de un edificio adecuadamente equipado para albergar la biblioteca, así como la realización de un microfilm con los diferentes volúmenes de la biblioteca, la cual se depositaría en la sede del Centro de Estudios Andaluces de Almería. La ejecución de dicho microfilm requeriría la restauración previa de algunos de los ejemplares que habían resultado gravemente dañados por la acción de las termitas, de fenómenos naturales como inundaciones y, en algunas ocasiones, por incendios (García, 2019).

A comienzos de octubre del 2002, una delegación andaluza viajó hasta Tombuctú para colocar la primera piedra del edificio que albergaría la biblioteca. Sin embargo, las sorpresas que ocultaba el fondo Kati no habían concluido ahí, ya que poco antes de terminar la construcción del recinto que daría albergue a este estimado legado se publicó en abril del 2003 la noticia del descubrimiento de otros cuatro mil manuscritos que se sumaban al número inicial. Así, Ismael Diadié anunciaba que de los tres mil documentos calculados inicialmente se pasaba a la cifra de 7026 manuscritos. Esta gran recuperación se debe a la incansable labor de Diadié, ya que habría continuado reuniendo el legado familiar que había sido repartido entre los distintos miembros del clan, mediante el pago a sus familiares o mostrándoles el testamento de Mahmud Kati. Los manuscritos recuperados se encontraban dispersos y ocultos en remotos lugares de Mali, custodiados por diversos descendientes de Ali Ben Ziyad los cuales esperaban el momento oportuno para sacarlos a la luz. Se incluyeron en esos cuatro mil manuscritos, por decisión del consejo de la familia Kati, documentos familiares tales como títulos de propiedad, actas matrimoniales y de defunción, así como un gran número de escritos que se refieren a actos jurídicos privados vinculados a la familia. El fondo incluso podría crecer aún más, ya que se cree que existen todavía ejemplares que permanecen escondidos como los anteriores (García, 2019) (Naranjo, 2013).

Del número total de manuscritos, 400 de ellos son de origen andalusí, entre los que hay obras de autores judíos, musulmanes y cristianos. Las restantes obras son africanas (subsaharianas y

magrebíes) y árabes. La datación de los diferentes escritos va del siglo XII al XIX. Asimismo, en lo referente a los idiomas pueden encontrarse escritos en distintos dialectos árabes, en hebreo, turco, beréber, castellano, inglés y francés, pudiéndose leer en diferentes tipos de escritura, como la cursiva andalusí, la magrebí, la nehsi turca, la suqi sudanera o la tfinar beréber, todo ello en soportes de vitela y principalmente de papel (árabe e italiano) profusamente iluminados. También puede apreciarse que la temática de los libros es principalmente histórica, así como religiosa, lingüística, legal y científica, a lo que hay que añadir un importante número de documentos contables, títulos de propiedad y cartas comerciales (Diadié, 2005) (García, 2019).

La inmensa mayoría de las obras que comprenden el fondo Kati se encuentran aun sin estudiar y muchas de ellas sin traducir, lo que produce una intensa emoción y una gran curiosidad. A través de este fondo documental se pueden estudiar temas tan relevantes como la diáspora que vivió el pueblo judío a finales del siglo XV y principios del XVI, la historia de algunos reinos africanos, la toma de la curva del Níger y la caída del Imperio Songhay, la historia de las ciudades caravaneras del Sáhara y, sin ninguna duda, el éxodo que los musulmanes sufrieron a finales del siglo XV cuando abandonaron la España Andalusí. En cuanto a la procedencia de los manuscritos, la mayoría de los que poseen una temática religiosa fueron comprados por Ali Ben Ziyad a lo largo de los dos años que duró su viaje de peregrinación a La Meca, donde adquirió numerosos manuscritos con los que enriquecer su biblioteca (García, 2019).

Se podría decir, en definitiva, que los libros que conforman el fondo Kati permiten estudiar la historia de la España musulmana y de la conquista cristiana, no desde un punto de vista de los vencedores, sino desde la perspectiva de los vencidos, lo que faculta poder iluminar aspectos de la historia que hasta el momento habían permanecido en la sombra. Al-Ándalus y su legado cultural, borrados de la historia peninsular, resurgen de esta manera en los manuscritos y autores musulmanes, judíos y conversos desterrados de Toledo, Sevilla, Granada, Málaga y otras tantas ciudades con los que estudió y se formó Mahmud Kati, reclamando ahora su lugar en la historia y en el mundo (García, 2019).

4 EL PAPEL COMO SOPORTE

A lo largo de la historia se pueden encontrar numerosas pruebas de la gran necesidad que el hombre siempre ha poseído para dejar plasmada su huella a través del tiempo y el espacio. Una de las principales vías para ello ha sido la escritura, la cual se ha ido desarrollando y perfeccionando a la par que el ser humano evolucionaba (Hidalgo, 2011).

Los primeros materiales utilizados como medio de escritura fueron las piedras, las planchas de metal (bronce o plomo generalmente) y tablillas de madera o marfil. No obstante, debido a la necesidad de facilitar la obtención, manejo y almacenamiento de estos útiles de escritura, emerge en el antiguo Egipto (alrededor del 3000 a.C.) las primeras técnicas de obtención de hojas de fibra rudimentarias, conocidas con el nombre de papiro. Asimismo, en el siglo II a.C. surgió en Asia Menor el predecesor del papel y sustituto del papiro: el pergamino. Ya en el siglo II d.C. es cuando tiene lugar en China el nacimiento del papel primitivo, cuna del papel empleado en la actualidad (Textos, 2005).

4.1 Precedentes

4.1.1 El papiro

Como se ha mencionado al comienzo de este capítulo, el papiro fue desarrollado por los egipcios a partir del *Cyperus papyrus*, planta que crecía a las orillas del río Nilo.

El proceso de obtención de dicho material de escritura se basaba en la recolección de los tallos de las plantas y su posterior reblandecimiento en las aguas del río durante 30 días, para lograr así un incremento de su flexibilidad. Tras dicho periodo de tiempo, se retiraban los tallos del agua y se obtenían las fibras de la médula de los mismos, las cuales se disponían de forma entrecruzada unas con otras, formando ángulos rectos entre ellas, sobre una rejilla del mismo material. La hoja generada, se humedecía con agua y se encolaba disolviendo goma en dicho líquido. Posteriormente, las hojas eran prensadas para favorecer la liberación de la savia de la planta, la cual actuaba como adhesivo entre las capas creadas por las fibras. Luego de dicho paso, las hojas se dejaban secar al sol o cerca de una hoguera hasta la eliminación total del agua. Por último, se pulía su superficie con la ayuda de piedras pómez o utensilios de marfil, logrando el alisado y eliminación de las impurezas (Tesauros, 2020). El resultado era un soporte propicio para la escritura y de un peso y dimensiones óptimas para su manejo y transporte (Textos, 2005) (Panyella, 2005).

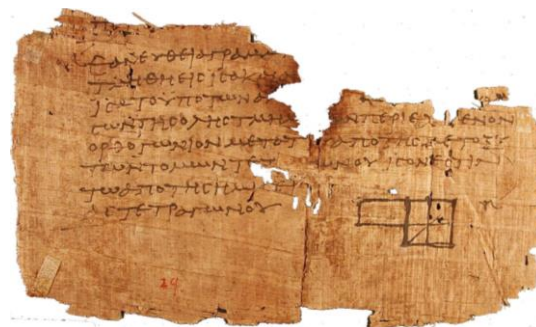


Figura 5. Papiro egipcio extremadamente dañado (Yubero, 2011)

En España, el papiro fue apenas empleado a pesar de su proliferación por el Mediterráneo; ello se debió a que Egipto albergaba principalmente el monopolio de su comercialización. Asimismo, su uso fue decayendo al declinar la antigua cultura egipcia y fue sustituido como soporte de escritura por el pergamino (Hidalgo, 2011).

4.1.2 El pergamino

El uso de pieles como base para la escritura ya era empleado por los antiguos persas, egipcios, sirios e israelitas. Sin embargo, cuando el rey Tolomeo de Egipto prohibió la exportación de los papiros (II a.C.), forzó al gobernante Eúmenes de Pérgamo (pertenciente al reino rival) a encontrar un reemplazo adecuado (Ecured, 2020) (Hidalgo, 2011).

La fabricación del pergamino se llevaba a cabo mediante la inmersión de las pieles en cal, lo que conllevaba a eliminar fácilmente los pelos, lana o carne que pudiera haberse quedado adherida en ella, quedando únicamente la dermis. Dependiendo del animal del que provenía la piel (vaca, oveja, asno, cabras, etc.), el pergamino adquiriría un color natural distinto. El proceso tenía una duración en torno a unos 20 días y debía realizarse junto a una fuente de agua para eliminar los restos de cal. Posteriormente, se realizaba el estiramiento de las pieles para tensarlas y dejarlas secar. El tratamiento se repetía humedeciendo las pieles con agua caliente y frotándolas con tiza o yeso, lo que le aportaba una mayor opacidad y blancura al pergamino. Finalmente, la superficie del pergamino era bruñida con piedra pómez, resina de sandálica o hueso de sepia (Orozco, 2019).



Figura 6. Legajo de pergamino (Auñón)

Entre las diversas ventajas que presentaba el pergamino frente al papiro se encontraba su buena capacidad de ser plegado y cortado en hojas que podían coserse, además de posibilitar su encuadernación. Asimismo, permitía la escritura por ambas caras y albergaba una mayor resistencia de sus propiedades con el paso del tiempo (Hidalgo, 2011). No obstante, como principal desventaja se encontraba la laboriosidad que el proceso de fabricación mostraba, desencadenando que se llevara a cabo la reutilización de viejos pergaminos, lo que daba lugar al borrado de los textos que ya estaban escritos anteriormente; perdiendo un elevado número de obras escritas. Igualmente, las tintas empleadas para los escritos, tintas de carbón, podían lavarse con facilidad y/o raspase aún con más simplicidad, pues la superficie del pergamino era muy lisa y no favorecía demasiado la absorción de la tinta. Estas características, tanto del soporte gráfico como de la tinta, hicieron que la reutilización de pergaminos fuera una práctica muy común en Europa, especialmente entre los siglos VII y XII, en la época en la que los monasterios los escritos de la época clásica se borraban y los soportes eran reutilizados para escribir textos teológicos y litúrgicos (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

4.2 Orígenes del papel

El papel puede considerarse, sin duda alguna, el soporte más común de los documentos gráficos a lo largo de la historia. Se diferencia principalmente de los materiales de escritura que lo precedieron, el papiro y el pergamino, en que es el resultado de un verdadero proceso de fabricación, siendo un producto sin parecido alguno a las materias que le dan vida (García, 2019).

Originario de la zona oriental, la materia prima empleada para la fabricación del papel estaba constituida por elementos de origen vegetal (lino) y animal (seda). Fue inventado en China, atribuyéndose dicho descubrimiento a Ts'ai Lun, en el año 105 a.C. Es conocido por ser el primer hombre en perfeccionar y codificar la fabricación de papel, llegando a organizar toda la producción de papel a gran escala y logrando conseguir las patentes exclusivas para llevarlo a cabo (Remazeilles, 2001). China ya en ese tiempo era una sociedad burocrática que necesitaba de documentos en abundancia para llevar un correcto y organizado registro por escrito; por lo que se asentaron las bases para el desarrollo de un material mucho más ligero, fácil de almacenar y transportar que el que ya existía por aquel entonces (tablillas de madera o telas de seda) (Valls, 1994).

Los chinos utilizaban como fuente de fibras el cáñamo, la corteza de morera, paja de arroz, de trigo o bambú (Remazeilles, 2001). Este último es importante destacarlo frente al resto, ya que resulta ser el predecesor a la pulpa de madera empleada por los fabricantes de papel en Europa en el siglo XVIII (García, 2019).

Por otro lado, el papel hizo su aparición hacia Occidente entrando por la ruta del Oeste y, para finales del siglo V, el papel ya era usado en toda Asia Central (Remazeilles, 2001). A causa de la invasión árabe en territorio chino, la fabricación del papel se extendió hacia el oeste por Samarcanda, donde los fabricantes chinos se vieron obligados a revelar el secreto de su elaboración al caer prisioneros del enemigo en 751. En esa misma ciudad tuvo lugar el nacimiento de la primera fábrica de papel en el mundo islámico, estableciendo la producción de dichos soportes gráficos mediante el empleo del abundante lino local y cáñamo, los cuales le conferían una apariencia suave y fibrosa. Asimismo, entorno al año 795 una segunda fábrica comenzó a funcionar en la ciudad de Bagdad, extendiéndose desde allí un arte perfecto hacia el norte de África (Hidalgo, 2005).

Es importante recalcar la gran aportación que los árabes realizarían en la elaboración del papel. Ellos serían los encargados de introducir diversas innovaciones, entre las que se incluyen: medidas estándar y colores, un método adecuado de envejecimiento del papel, así como la introducción de alambres en los moldes, etc. (Nicolalde, 1960). Además, fueron los encargados de extender la fabricación del papel a Europa a través de la ruta de la seda (García, 2019).

Con la invasión árabe de la Península Ibérica (711 d.C.), llegaron las primeras fábricas de papel a España, llegando a ser el primer emplazamiento de Europa Occidental donde se fabricó papel en la Edad Media. Sin embargo, no se conoce con exactitud cuándo tuvo lugar, puesto que los acontecimientos no están datados en la misma fecha en distintos documentos; a pesar de ello, se puede llegar a afirmar que alrededor del siglo XI se ubicó en Xàvita la primera fábrica de papel europea. No obstante, pueden hallarse otras fuentes en las que se indican como primeros talleres de producción de papel en Europa a algunos ubicados en Córdoba o Toledo, ciudades que vivieron un gran esplendor en este siglo (Hidalgo, 2011) (García, 2019).

Es de destacar que el soporte más empleado en la Edad Media era el pergamino, principalmente para documento solemnes. No obstante, el uso del papel fue en incremento por los árabes debido a que era más asequible y porque, como se ha mencionado con anterioridad, en los pergaminos era posible raspar los textos, causando que la información desapareciera, algo imposible de no advertir en el papel, lo cual suponía una grata ventaja (Orozco, 2019).

La entrada de la fabricación de papel en el mundo islámico conllevó un cambio en los materiales y

en la técnica, tal y como se comentó previamente. Se utilizó la energía hidráulica, el blanqueo de las fibras con cal, encolado con almidón, así como mejoras en la forma papelera. Uno de los primeros ejemplos de papel realizado en España se encuentra localizado en el Monasterio de Santo Domingo de Silos, en Burgos. Allí se guarda un Breviario y un Misal mozárabe, es anterior al año 1036, no tiene filigrana, es de lino y tiene poca refinación (Gayoso, 1994) (García, 2019).

Posteriormente, es en Italia donde se localizan más procesos de fabricación de papel y se cree que su difusión tuvo lugar a través de España o Sicilia con Las Cruzadas. La primera referencia acerca de la producción del papel en Italia data de 1275, en el pueblo de Fabriano. Este dato es de bastante relevancia en lo referente al desarrollo de los soportes gráficos, puesto que introduce el papel de trapo, el cual era satinado con una cola de gelatina animal. Esta técnica tuvo un buen recibimiento por parte de los escribas y desencadenó en una mayor aceptación del papel como sustituto del pergamino. Por ello, en el siglo XIV, Italia aventajó a España y a Damasco en la producción del papel (Gayoso, 2011).

La producción fue a paso lento hacia el resto de Europa. A finales de siglo, los centros que fabricaban papel se establecieron por toda Francia, Alemania y Holanda, convirtiéndose este último en un importante productor de papel cuando Ámsterdam llegó a ser un albergue para los refugiados y comerciantes de toda Europa (Hidalgo, 2011).

En Europa, a partir de la invención de la imprenta (siglo XV), tuvo lugar un considerable incremento en la producción de papel. Esta situación provocó un aumento en el consumo de lino y algodón (materias primas claves en la composición del papel), desembocando en una notable carencia de los mismos, por lo que se buscaron otras alternativas materiales. En 1840, surge una opción bastante viable que permitía resolver el déficit generado; dicha solución se basaba en un sistema mecánico de trituración de madera para obtener pulpa. Asimismo, diez años después apareció el primer proceso químico con el que se lograba aislar la celulosa mediante el tratamiento de la madera (Orozco, 2019).

Diversos refinamientos de este proceso condujeron a un rápido desarrollo y adaptación del papel, elaborándose mediante una gran variedad de fibras vegetales que, junto con la aparición de los colorantes, ofrecen una gran variedad de texturas, composición y colores. A partir de ese momento, el papel se ha convertido en un símbolo de la cultura, utilizándose más allá de la escritura para envases, envoltorios y otros productos desechables (Torres, 2012) (García, 2019).

4.3 Fabricación y composición

Tal y como se ha explicado anteriormente, los primeros papeles de fabricación europea tienen su procedencia en tejidos de fibra vegetal. Este tipo de fabricación perduraría hasta mediados del siglo XIX, cuando la madera sustituiría radicalmente a la fuente liberiana (García, 2019).

Por tanto, la fabricación del papel en Europa puede dividirse en dos grandes periodos: papel de trapos y papel de madera (La Lande, 1778).

4.3.1 Papel de trapos

Se denominaron así ya que eran obtenidos a partir de trapos de muy diversa índole: lino y cáñamo, en un comienzo, y algodón en un periodo posterior. Asimismo, teniendo en cuenta la tecnología utilizada para la creación del papel, se pueden distinguir dos etapas claramente diferenciadas:

4.3.1.1 Etapa artesanal manual

Se corresponde con la primera etapa de fabricación. Solían emplearse molinos papeleros, localizados cerca de la orilla de los ríos de limpio caudal (en un principio los propios molinos harineros y de aceites cumplían esta misión). Gayoso Carreira menciona la existencia de un molino de papel en Xávita (Valencia) en 1074 (Gayoso, 2011). Tal y como se comentó previamente, los árabes introdujeron en la técnica de la fabricación del papel la energía hidráulica, por esto, es lógico que el emplazamiento más típico para estos molinos papeleros fuera cerca de los ríos ya que estos eran utilizados como fuente energética para moverlos.

La fabricación del papel comenzaba mediante el troceado de los trapos, su desempolvado, la sumersión en agua para una mayor limpieza (activada con una fermentación), un lijado suave, a sí como un macerado y bateado de los mismos para lograr su desfibrado, además de añadir una pulpa o pasta que, convenientemente mezclada con agua en grandes tinas o recipientes, será la materia prima del papel. Tras ello, la pasta sería extraída del medio acuoso para ser convenientemente prensada y secada, constituyendo así la hoja de papel. Este papel es conocido como papel de tina o papel a mano, debido al procedimiento totalmente manual de su fabricación (García, 2019).

Igualmente, para conseguir una superficie óptima para recibir la escritura, siendo lo debidamente impermeable para que la tinta no se difundiera, las hojas de papel secas soportarían un encolado a base de engrudos vegetales en los primeros tiempos de fabricación, de cola animales después y un posterior satinado que les confería una superficie lisa, la cual era totalmente receptiva a la tinta. Además, el encolado también se encargaba de unir las fibras, aportando resistencia al papel (Crespo & Viñas, 1985) (García, 2019).

A pesar de que el operario se encargaba de agitar continuamente toda la pasta para lograr una distribución homogénea de la pulpa, la hoja de papel fabricada presentaría un grosor desigual e, incluso, se podían llegar a apreciar restos de filamentos del trapo originario, lo cual era originado por la manualidad puramente artesanal del procedimiento (García, 2019).

El papel andalusí obtenido de esa forma presentaba un espesor aproximado de 0,4 mm (lo que se consideraban demasiado gruesas), un encolado elaborado tanto con almidón como con otros ingredientes vegetales (goma arábiga) y un color distintivo entre los que destacaban el rojizo y, en menor medida, el rosado o el verde (Orozco, 2019).

No obstante, una de las características más distintivas en algunos soportes gráficos era la señal de zigzag o de líneas paralelas traslúcidas, procedentes de la formadora de hilos metálicos entrelazados (puntzones y corondeles). Ello se debía a un menor recibimiento de pulpa que en el resto de la superficie, a modo de verja, denominándose verjurado al papel con estas características (Crespo & Viñas, 1985).

La composición típica del papel elaborado artesanal y manualmente se caracterizaba por ser principalmente de celulosa (materia casi exclusiva en la composición del tejido liberiano). Como únicos aditivos se encontraban el apresto de cola vegetal o animal y la pequeña reserva alcalina originada por la utilización de cal en el proceso de obtención de la pasta papelera (García, 2019).

La celulosa es un polímero lineal, cuya unidad básica es la D-glucosa que se enlaza consecutivamente a través de un enlace glucosídico, lo cual da lugar a la unidad de celobiosa, siendo este monómero el que se repite en la cadena polimérica tal y como se aprecia en la Figura 7 (García, 2019).

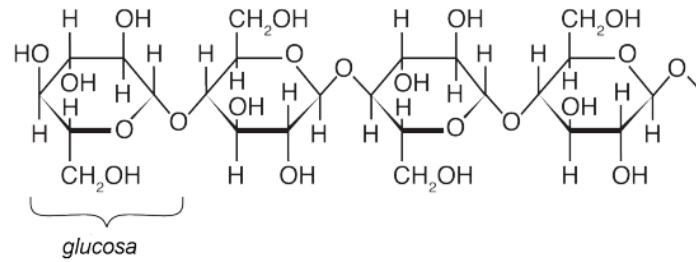


Figura 7. *Molécula de celulosa* (Keller, 2019)

La molécula de celulosa forma una larga cadena y la unión de varias de ellas da lugar a la fibra celulósica. Las moléculas de agua incorporadas a la pasta durante el proceso de fabricación del papel establecen enlaces semiquímicos con los radicales oxidrilos (OH) de cada átomo de carbono del polímero, originando puentes de hidrógeno entre las moléculas de celulosa adyacentes (Crespo & Viñas, 1985). Dichos puentes de hidrógeno pueden ser intra e intermoleculares, los cuales influyen en la rigidez y la morfología de las cadenas celulósicas, así como en su orientación, resistencia y reactividad de las mismas. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares son los que permiten una estructura fibrilar ordenada, generando una elevada cristalinidad. Las zonas del papel que presentan dicha peculiaridad se caracterizan por ser difíciles de penetrar por disolventes y reactivos; mientras que aquellas regiones desordenadas (amorfos por la inexistencia de elevados enlaces intermoleculares) son más accesibles y susceptibles a todas las reacciones químicas y que, además, favorecen al alargamiento, hinchamiento y flexibilidad de la fibra. Además, en la pared celular, las cadenas de celulosa se van agregando para formar microfibrillas, que son el elemento base de los materiales celulósicos. Las dimensiones de estas microfibrillas variarán según el origen y la posición de la pared celular (León, 2012).

Por tanto, las propiedades de los materiales celulósicos están directamente relacionadas con el grado de polimerización de la molécula de celulosa. La resistencia del papel se debe en parte a la resistencia individual de cada cadena de celulosa, que disminuirá si estas se degradan, dando lugar a una disminución de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra. Esta degradación puede ser de diferente naturaleza, entre las que se aprecian: la degradación hidrolítica, alcalina, oxidante, térmica, microbiológica o mecánica (Crespo & Viñas, 1985).

En el caso de que la fibra de celulosa fuese deshidratada desaparecerían los puentes de hidrógeno y la fibra sufriría una reducción en su ancho. No obstante, cuando la fibra está bien hidratada padece un proceso de expansión. El exceso de agua reblandecerá la fibra hasta desmenuzarla. El papel es un material muy higroscópico, por lo que ganará o perderá agua de acuerdo a la cantidad de humedad relativa de la atmósfera en la que se encuentre. El papel hecho a mano se caracteriza por contraerse y expandirse de forma casi homogénea a lo largo y ancho de toda su superficie (García, 2019).

En cuanto al engrudo o cola vegetal, el principal componente era el almidón, el cual se define como un hidrato de carbono que puede ser encontrado en la mayoría de las plantas y, de modo especial, en los cereales. Presenta una escasa solubilidad en agua fría, por lo que para su uso fuera óptimo era necesario utilizar agua caliente, originando una sustancia viscosa que al enfriarse y perder agua se endurecía. Esto mismo sucede con la cola animal, la cual procede de la hidrólisis del colágeno, proteína constitutiva de la piel o de los cartílagos y huesos de los animales. El procedimiento para obtener este engrudo se basaba en la cocción de dichos desperdicios limpiados correctamente de pelo y carne (Bringas, 2017) (García, 2019).

4.3.1.2 Etapa artesanal industrializada

Los sistemas mecánicos, aparecen en los últimos años del siglo XVIII y primeros del XIX, sustituyendo al método tradicional de fabricación del papel y permitiendo la creación de largas tiras de forma continua. Estos sistemas se caracterizaban por ser telas o tamices continuos, soportados por

rodillos y eran animados con un movimiento rectilíneo horizontal sobre los recipientes de la pulpa. Ésta se depositaba sobre unos tamices que se encontraban en una suspensión muy diluida, dando lugar a que la pulpa fuera cediendo agua de forma natural y posteriormente a causa de la presión ejercida por los rodillos. El papel resultante presenta un espesor más regular y uniforme que aquel obtenido en la etapa artesanal manual. Asimismo, el papel elaborado de forma continua difiere también del papel artesanal en que sus fibras se encuentran alineadas en la dirección en que se mueve en la máquina y será en su sentido transversal en el que se contraerá y expandirá de modo preferente (García, 2019).

La composición en esta etapa era esencialmente la misma que en la etapa artesanal. A la celulosa y al agua comenzaron a añadirse (finales del siglo XVII), junto con los aprestos vegetales y animales, e incluso sustituirlos, un apresto químico como es el alumbre; mientras que en el siglo XVIII, ante la elevada demanda de papel y la escasez de trapos blancos, se empezaron a utilizar trapos de color que eran decolorados previamente con compuestos clorados (García, 2019).

El empleo de alumbre tuvo lugar ya en el último periodo de la etapa artesanal manual. El alumbre es una sal del ácido sulfúrico (sulfato de aluminio potásico) que se utilizó en dicha etapa como endurecedor de la gelatina. No obstante, fue a partir de los primeros años del siglo XIX cuando su uso se generaliza, ya que puede ser añadido a la pasta antes de la formación total de la hoja, suprimiendo así la manualidad de la aplicación posterior de la gelatina y agilizando el proceso de producción de los soportes gráficos. La disolución del alumbre en el agua provoca una fuerte reacción ácida, la cual destruye la reserva alcalina y ataca la fibra de celulosa antes, incluso, de la formación de la hoja (Crespo & Viñas, 1985).

4.3.2 Papel de pasta de madera

El aumento de la demanda de papel y sus múltiples aplicaciones, más allá de la de soporte gráfico, era difícilmente satisfecha a partir de la tradicional materia de obtención: los trapos. Por ello, se buscaron nuevas fuentes para la fabricación de papel; como es el caso del papel de esparto en Inglaterra, un material libre de lignina y con una buena permanencia (García, 2019).

Sin embargo, la verdadera solución se basaba en la utilización de la madera como materia prima para la producción de papel, relevando definitiva e irreversiblemente al trajo. Según el procedimiento que se emplee, se obtendrán diferentes tipos de papel: de pasta mecánica, pasta química y semiquímica.

4.3.2.1 Papel de pasta mecánica

El desfibrado que se lleva a cabo a los troncos se desarrolla de una forma mecánica mediante el empleo de desfibradoras con muelas de arenisca, carborundo u otros materiales abrasivos que los convierten en astillas y serrín. Tras ello, el material originado padecerá un otro desfibrado y formará parte de la pasta base, la cual recibirá un blanqueo por un agente clorado y un apresto a base de alumbre y colofonia (García, 2019).

En cuanto a la composición, pueden destacarse evidentes diferencias con respecto a la composición de los trapos. Aparte de la celulosa (50%), la madera posee también hemicelulosa, lignina, así como resinas, pectinas, etc. Ninguna de estas sustancias son eliminadas en el proceso de fabricación del papel de pasta mecánica, el cual contendrá fibras cortas e irregulares a causa de la brutal tracción a la que es sometida la madera para su desintegración (Grant, 1958) (García, 2019).

La colofonia se caracteriza por ser una resina obtenida de la turpentina y se encarga de hacer al soporte de papel resistente al agua, además de hacerlo apto para recibir la tinta. La principal causa de acidez para estos papeles radica es el uso de la colofonia junto con el alumbre, el cual facilitaba la precipitación de la primera sobre las fibras (García, 2019).

Por otro lado, la hemicelulosa es un polisacárido químicamente heterogéneo, ya que se está conformado por combinaciones de monosacáridos de cinco (xilosa y arabinosa) y seis carbonos (glucosa, galactosa y manosa) enlazados de manera no uniforme. Ciertas hemicelulosas se encuentran asociadas a la porción celulósica, mientras que otra fracción de ellas está unida a la lignina. Las primeras se encargan de actuar como soporte de las microfibrillas de la celulosa en la pared celular y además son de menor peso molecular, más accesibles, así como más asequibles de degradar y fáciles de disolver que la celulosa (García, 2019). Asimismo, son amorfas e hidrofílicas, lo que favorece en gran medida la absorción del agua durante la operación de refinado, promoviendo la fibrilación interna de la fibra y mejorando las propiedades físico-mecánicas que dependen del área de enlace de las interfibras (León, 2012).

Por otro lado, la lignina se caracteriza por ser estructuralmente muy diferente a la celulosa y a la hemicelulosa. Es un polímero fenólico muy ramificado, tridimensional y amorfo, que suele actuar como material incrustante entre la lámina media y las paredes de las fibras de celulosa. A causa de su carácter hidrofóbico, suele inhibir la absorción de agua, además del hinchamiento de la fibra y dificultar el refinado (García, 2019). Se caracteriza también por ser muy vulnerable a la acción de agentes oxidantes y fácilmente eliminable por procedimientos químicos. La distribución y cantidad de la lignina en las paredes celulares depende de sus orígenes siendo, por ejemplo, las coníferas las que mayor porcentaje presenta frente a las frondosas. La estructura básica de la lignina difiere entre estos dos tipos (García, 2019). En las coníferas, la estructura predominante repetida es el guayacilo, la cual contiene un único grupo metoxilo en el anillo fenilpropano. En el caso de las frondosas, la lignina es un copolímero conformado por guayacilo y siringilo, poseyendo esta última dos grupos metoxilo por núcleo fenilpropano. Las unidades de siringilo son mucho más reactivas que las unidades de guayacilo, por lo que la lignina de la madera de coníferas será más difícil de abatir (León, 2012) (García, 2019).

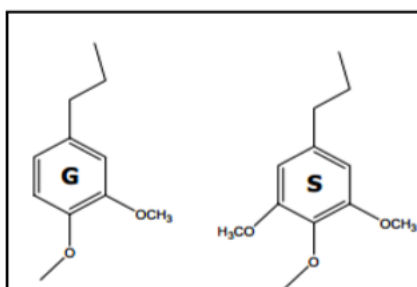


Figura 8. Estructura de la lignina guayacilo (G) y siringilo (S) (García, 2019)

La presencia de agentes clorados no eliminados totalmente después del proceso de blanqueo de las fibras de coloración oscura acrecienta la baja calidad del producto, puesto que el objetivo de los mismos es únicamente mejorar el aspecto estético, pero no la calidad.

4.3.2.2 Papel de pasta química

La pasta producida a partir de la madera puede llegar a poseer una pureza de celulosa semejante a la obtenida en la pasta procedente de trapos, siempre y cuando el proceso se llevara a cabo por procedimientos químicos, los cuales tienen la facultad de eliminar los componentes no celulósicos de dicha pasta (García, 2019).

En este caso existen diversas alternativas para desarrollar este proceso. Entre ellas destaca el planteamiento del americano Tilham, en 1863, acerca de la desintegración de la madera con bisulfito cálcico bajo presión de vapor para convertirla en celulosa. Mellin (Francia), Watt y otros tanto en Inglaterra obtendrán la celulosa medio de la cocción de la madera con sosa cáustica. Por último, el

procedimiento al sulfato se basa en una mezcla de sosa cáustica y un sulfato, el cual es el sistema más empleado en la actualidad (García, 2019).

El procedimiento al sulfito es un proceso ácido, debido al uso del dióxido de azufre (SO₂), a pesar de que su acción esté contrarrestada por el uso de carbonatos y otros productos alcalinos. Por otro lado, los procedimientos a la sosa y al sulfato son alcalinos. Este último se caracteriza por la generación de una pulpa, conocida como *Kraft*, la cual posee una coloración oscura, lo que la hace en un principio inapropiada para ser el soporte de los documentos gráficos. A día de hoy, existe la posibilidad de blanquearla para tal fin a costa de perder cierta resistencia física (Crespo & Viñas, 1985) (García, 2019).

En cuanto a la composición de este papel, puede destacarse que en este caso la celulosa aparece desembarazada de las sustancias que la acompañan en la constitución de la madera, como sucede con la lignina. La pulpa generada vendrá degradada, al igual que sucedía en la pasta mecánica, por la presencia del alumbre, la colofonia y de residuos clorados (García, 2019).

4.3.2.3 Papel de pasta semiquímica

A causa de motivos económicos, normalmente no suelen emplearse los procedimientos más extremos para obtener la pasta de celulosa pura, lo cual implica una elevada pérdida en el porcentaje de materia prima (madera). Usualmente, se produce una media pasta o pasta semiquímica mediante un proceso de desintegración mecánica seguido de un tratamiento químico (García, 2019).

La composición de este tipo de papel suele ser menos pura que el tipo anterior y más que la pasta mecánica, ya que disminuye la cantidad de lignina y de otros componentes no celulósicos (Crespo & Viñas, 1985).

4.3.2.4 Papel reutilizado

Existe una alternativa viable para la obtención del papel en la cual la materia prima a utilizar es papel ya usado. Es decir, la generación de papel puede provenir de modo indirecto de la madera como producto de reutilización de otros papeles. Se trata de un material de muy pobre calidad, ya que alberga muy poco contenido en celulosa; es de fibra corta y posee todos los elementos degradantes obtenidos directamente de la madera (Crespo & Viñas, 1985).

En la actualidad, los papeles de impresión y escritura provienen cada vez más del papel reciclado. Dicho material representa la materia prima más importante de la industria papelera. Ello se debe, principalmente, a los cambios hacia una mentalidad mucho más protectora del medio ambiente; buscando procesos de fabricación más sofisticados y menos contaminantes (Remazeilles, 2001).

4.4 Clasificación de las fibras de papel

Según el tipo de papel, las fibras pueden clasificarse como (Nicolalde, 1960) (García, 2019):

- **De fibra corta:** proceden de las maderas duras y las frondosas tales como el eucalipto, abedul, haya, roble, chopo, etc. Se caracterizan por poseer un elevado porcentaje de celulosa y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm y los 2 mm de largo. Ofrece un buen acabado superficial y suele ser ideal para la producción de papel de impresión y escritura.
- **De fibra larga:** tienen su origen en maderas blandas como lo son las coníferas (abeto, pino, etc.). Su aplicación se centra en la fabricación de papeles cuyo principal atributo es la resistencia siendo por ejemplo sacos de papel o cajas de cartón.

- **Fibras no madereras:** resultan de diferentes especies de arbustos. En los países más industrializados se utilizan para producir cierta clase de papeles especiales.
- **Algodón:** las fibras tienen una longitud superior a los 12 mm. Se utilizan para la fabricación de papeles finos de escritura.
- **Cáñamo:** su longitud es superior a los 5 mm. Proceden de cordeles viejos y otros desperdicios.
- **Lino:** La longitud de las fibras se encuentra entre los 6 mm y 60 mm. Era el tipo más empleado para la fabricación de papel de trapo.
- **Bagazo de cereales:** sus fibras son empleadas para la producción de envases, tales como los cartones para huevos, botes y tubos de papel.

Asimismo, es importante destacar que, hasta mediados del siglo XIX, cuando la producción aún era manual, se fabricaba papel exclusivamente a partir de trapos viejos de lino, cáñamo o algodón, tal y como se ha mencionado con anterioridad. La composición de las fibras procedentes de los mismos se caracterizaba de la siguiente forma (Remazeilles, 2001):

- **Fibra de lino:** 72% celulosa, 17% hemicelulosa, 3% lignina, 6% pectina y 2% ceras y grasas.
- **Fibra de cáñamo:** misma composición que el lino, aunque ligeramente más lignificado.
- **Fibra de algodón:** de 88 a 94% de celulosa, entre 2 y 4% de hemicelulosa, 6-8% de agua, de 1 a 1,5% de proteína; 0,6-1,5% de sustancias minerales, entre 0,6 y 1,2% de péptidos y 0,6-1% de ceras.

5 TINTAS: ELEMENTOS GRÁFICOS DEL DOCUMENTO

Por tinta se entiende a toda aquella sustancia que en estado más o menos fluido e, incluso, sólido, es apta para escribir, imprimir o colorear, según diversas técnicas y con instrumentos adecuados a cada una de estas posibilidades.

A lo largo de la historia se han utilizado una extensa variedad de tintas de diferente naturaleza, ya sea de origen vegetal, animal o mineral. Sus componentes fluctúan de forma extremadamente variable, en especial en aquellas épocas en las que eran preparadas mediante recetas de carácter empírico.

Además, la industrialización no alcanzó a simplificar la tipología respecto a la cantidad y cualidad de sus ingredientes. Actualmente, a excepción de aquellas tintas que se obtienen directamente de elementos naturales, la mayoría de ellas son el resultado de mezclas o síntesis cuya determinación cualitativa y cuantitativa no siempre es posible, a pesar de hacer uso de sistemas analíticos de alto nivel (García, 2019).

5.1 Orígenes de la tinta

El origen de las tintas como medio de escritura resulta bastante difícil de situar, aunque se sabe que han sido empleadas desde tiempos muy remotos. De hecho, vestigios, documentos y distintos objetos encontrados y fechados en periodos muy lejanos y analizados mediante métodos físico-químicos, han revelado que la tinta negra se utilizó en el cuarto milenio a.C. en Egipto y en el segundo milenio a.C. en China (Remazeilles, 2001).

Se conocen tintas de carbón datadas del año 2500 a.C., las cuales consistían simplemente en una suspensión de partículas de carbón en agua, con una goma como aglutinante (Eusman, 1998) (Dorning, 2000) (James, 2000). Para la confección de estas tintas, los pigmentos de carbón podían ser producidos de diversas formas (Eusman, 1998) (James, 2000). Por un lado, se empleaba hollín obtenido de la combustión de diversos aceites vegetales, minerales o animales; siendo un pigmento que aportaba el color negro a las tintas, pero que al contener residuos grasos dificultaban su dispersión en agua, por lo que algunas recetas mencionaban la importancia de desengrasarlo. La segunda alternativa se basaba en la carbonización de material orgánico, como madera, semillas, cáscaras, etc., para posteriormente pulverizar el carbón obtenido y cuya dispersión en agua era más sencilla por no tener residuos oleosos. Una tinta de carbón adecuada presentaría una apariencia negro-azulada y sería sumamente estable con el paso del tiempo; sin embargo, también sería fácil de borrar y muy sensible al contacto con agua debido a la solubilidad de su aglutinante, lo que conlleva a limitar su permanencia (Eusman, 1998). Ello se debía mayormente a que dichas tintas de carbón se comportaban como un pigmento en suspensión, depositándose simplemente sobre la superficie del papel y siendo fijado al mismo a causa de un adhesivo (el aglutinante), por lo que no llegaban a reaccionar químicamente con el soporte gráfico en el que eran aplicadas (Dorning, 2000).

En el Imperio romano, entorno al 300 a.C., las tintas se elaboraban con carbón, alcanfor y gelatina. En Grecia, durante la época Helenística, también usaban tintas realizadas con carbón, pero era mezclada con agua y goma arábiga como aglutinante (Doménech, 2013).

Asimismo, las tintas metaloácidas, más concretamente las ferrogálicas, tienen un origen posterior a las tintas de carbón, aunque también es bastante arcaico. La posibilidad que presentan de reaccionar los taninos y las sales de hierro para generar compuestos de color negro se conoce desde la antigüedad, aunque su utilización para la elaboración de tintas de escritura se dio más tardíamente. En el siglo IV a.C en la India se datan los primeros usos de esta mezcla, donde se empleaba como tinta para el cabello (Odor, 2013). Igualmente, el griego Filón Bizancio en el siglo III a.C. señaló que al pasar una esponja impregnada con sulfato de cobre triturado en agua sobre una línea escrita con una mezcla de nueces de agallas, el compuesto se volvía invisible a la vez que se producía el oscurecimiento de las letras (Remazeilles, 2001).

En el siglo I, Plinio el Viejo describe en su *Naturales Historia*, un experimento en el cual hacía reaccionar sales de hierro con un papiro impregnado con taninos, dando como resultado una coloración negra (Eusman, 1998). Asimismo, los zapateros romanos usaban una tinta preparada con los mismos materiales para oscurecer el canto de las pieles utilizadas en la confección de zapatos (Dorning, 2000).

Sin embargo, a pesar de que su utilización en diversas ramas, su uso no se generalizó hasta varios siglos después. La receta más antigua de la que se tiene registro hasta el momento sobre tinta ferrogálica es el *Papiro V de Leyden*, de origen griego y datado en torno al siglo III. Dicha receta era: *Myrrhe 1 drachme, misy 4 drachmes, vitriol 4 drachmes, gallnuts 2 drachmes, gum 3 drachmes* (James, 2000).

Como puede apreciarse, en esa sucinta receta no se mostraba el método de preparación de forma detallada. No obstante, permite conocer los principales componentes de una tinta ferrogálica. El término *myrrhe* hace referencia a la mirra, gomorresina usada con diversos fines desde la antigüedad y que para el caso particular de las tintas actuaba como aglutinante o aditivo; mientras que *misy* se correspondía con un tipo de sulfato de hierro impuro. Por otro lado, con el término *vitriol* se denominaba al sulfato ferroso y, en otros casos, también al sulfato de cobre. El *gallnut*, término inglés utilizado para denominar a las agallas de las que se obtenía el ácido gálico, y la palabra *gum* se refiere a la goma empleada como aglutinante. Por último, el término *drachme*, de origen griego, significa puñado y se acuña como unidad de medida (Odor, 2013).

Asimismo, en la *Enciclopedia de las Siete Artes Libres* (siglo V), escrita por Martianus Capella, se presenta otra de las recetas más antiguas; la de la tinta ferrogálica *Gallarum gummeosque commixtio* (Eusman, 1998). A partir de ella, comenzó a añadirse sulfato ferroso a las tintas de carbón para incrementar la permanencia de éstas. Ello se debía fundamentalmente a que el sulfato era más soluble que el carbón y, por tanto, penetraba más en la estructura del soporte, dificultando su eliminación del mismo (Eusman, 1998) (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

Más tarde, se adicionaron también taninos de distintas fuentes y se fue suprimiendo la utilización del carbón en la producción de tintas, ya que no era indispensable para lograr la coloración negra de la tinta. Igualmente, a causa de la alta permanencia, su fácil preparación y la fluidez que mostraba el instrumento para escribir cuando se empleaban las tintas producidas con sales metálicas y taninos se desembocó en el desuso de las tintas de carbón (Eusman, 1998).

A partir de entonces tuvo lugar una dilatada e indefinida etapa de transición entre las tintas de carbón y las ferrogálicas, llegando a generarse un tercer tipo de tinta conocidas como 'mixtas', ya que resultaban ser una combinación de ambas. Entorno al siglo XI la tinta ferrogálica ya era muy popular en Europa gracias a su alta propiedad permanente en el soporte gráfico, siendo muy utilizada para documentos legales (Neevel, 2002). Asimismo, tal y como se mencionó en el capítulo cuatro de este proyecto, el papel llega a Europa en esta misma época y su uso como soporte de escritura se difundió rápidamente. A consecuencia de ello, la demanda de tinta experimentó un incremento considerable, siendo un hecho trascendental para acelerar la transición de una tinta a otra (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

Hasta el siglo XII no hubo registro de muchas más recetas de tintas ferrogálicas occidentales. La principal causa de ello se debe a que hasta entonces los escribanos eran los únicos que tenían acceso a la escritura y, por tanto, las recetas eran transmitidas entre ellos sin dejar testimonio escrito o sin

que se tuviera conocimiento de la preparación de las tintas fuera de los conventos (Odor, 2013) (Stijnman, 2004).

Así, la primera receta detallada de una tinta metaloácida en Europa Occidental se da de la mano del monje alemán Teophilus en su tratado *De encausto*; sin embargo, en dicha receta no se incluía el empleo de un aglutinante (James, 2000).

Ya en el siglo XIV las tintas ferrogálicas eran las más usadas en Europa. A partir de esa fecha sí es posible encontrar con más frecuencia recetas detalladas para la preparación de tintas metaloácidas en distintos tratados europeos. Con la aparición de la imprenta en 1450, la divulgación de distintas recetas para elaborar tintas fue más sencilla y éstas podían variar a causa de su transcripción o traducción para su impresión (Odor, 2013).

Para el siglo XVIII, la población con acceso a la escritura era muy elevada y se había logrado difundir un gran número de recetas para la producción de tintas, siendo publicadas éstas en diversos libros de caligrafía. Asimismo, la venta comercial de las tintas preparadas se popularizó, mostrando una amplia variedad según el tipo de aplicación a la que estaban destinadas (Stroud, 1990). Hacia finales de este siglo, tiene lugar el comienzo de las investigaciones científicas que tenían como objetivo la búsqueda de la proporción ideal de los distintos componentes de la tinta ferrogálica. Dichas indagaciones se debían a que se había comenzado a advertir un deterioro bastante notorio en manuscritos de siglos anteriores. Entre las diversas investigaciones, destaca el trabajo del inglés William Lewis; el cual fue el primer trabajo que describía el proceso de degradación de las tintas metaloácidas por exceso de sulfato ferroso en 1797 (Neevel, 2002).

En el siglo XIX la producción de tintas ferrogálicas se industrializa, por lo que su calidad y permanencia se ven comprometidas. Para agilizar su producción e intensificar su color se adicionaban gran cantidad de ácidos que, a largo plazo, provocaban mayores deterioros en los soportes gráficos. A ello hay que unir que el papel comenzaba a ser de menor calidad a causa de la utilización de la madera (1866) como materia prima para su fabricación (Carter, 1989).

Ya a finales del siglo XIX empezó el declive del uso de las tintas metaloácidas debido a la acción sustitutiva que los colorantes sintéticos (las anilinas, descubiertas por William Henry Perkin en 1856) realizaron al aparecer (Mitchell, 1904). A pesar de que su utilización finalizó a primera mitad del siglo XX, pueden encontrarse algunas referencias posteriores que muestran que estas tintas continuaron usándose por un poco más de tiempo (Eusman, 1998).

5.2 Composición de la tinta

La composición de las tintas no puede catalogarse de una forma tan general, tal y como ocurre con los soportes gráficos, ya que sus componentes variaban de forma drástica; principalmente en la época en la que eran fabricadas mediante recetas de carácter empírico puesto que existía una gran variedad de materias primas utilizadas, así como las proporciones usadas de las mismas (García, 2019). Asimismo, la industrialización tampoco permite simplificar del todo la tipología en cuanto a la calidad y cantidad de sus ingredientes. En la actualidad, con excepción de las tintas obtenidas directamente de elementos naturales, la mayoría de ellas surgen como mezclas o síntesis cuya especificación cualitativa y cuantitativa no siempre es posible, a pesar de usar sistemas analíticos de alto nivel (Odor, 2013).

No obstante, para tratar de elaborar una base genérica de componentes de las tintas, estos mismos pueden clasificarse en dos grupos: componentes básicos y complementarios (Thompson & Lindblad, 1996).

5.2.1 Componentes básicos

Disolvente

El disolvente se corresponde con el medio líquido en el que son disueltos o dispersados los ingredientes que participan en la elaboración de la tinta, para así proporcionarle a ésta la fluidez idónea al instrumento de escritura utilizado y al soporte gráfico seleccionado (García, 2019).

Principalmente, los más empleados son el agua para las tintas destinadas a escritura y aceites en las que son aplicadas para imprimir (Crespo & Viñas, 1985).

Aglutinante

Sustancia adhesiva que tiene como objetivo proporcionar una adecuada cohesión y adherencia entre las propias partículas colorantes y estas mismas al soporte (García, 2019).

Los ejemplos más comunes de aglutinantes son: goma arábiga, dextrinas, azúcar, melaza, goma laca, albúmina, cola de pescado... (Crespo & Viñas, 1985). Siendo el más destacado el primero de ellos, principalmente en las tintas ferrogálicas como se verá más adelante.



Figura 9. Exudación de goma arábiga del tronco de una acacia (Cainelli, 2015)

Colorante

Se constituye como el elemento que proporciona el color característico de la tinta. Este elemento tintóreo puede estar constituido por pigmentos tanto de origen natural como artificial (García, 2019).

Mordiente

También conocidos como compuestos ácidos. El mordiente suele ser apreciado en ciertos tipos de tintas en las que actúa como elemento fijador de las mismas al soporte en el que hayan sido aplicadas. Debido a ello, pueden llegar a sustituir la acción mecánica de las sustancias adhesivas, es decir, los aglutinantes (García, 2019).

Su uso se destaca principalmente en las tintas metaloácidas, en las que los más comunes fueron el ácido sulfúrico y el acético (Crespo & Viñas, 1985).

5.2.2 Componentes secundarios

Este tipo de componentes suelen agregarse a la tinta para otorgarle a ésta una serie de características bien definidas y deseadas. Entre los más comunes sobresalen (Crespo & Viñas, 1985).

Espesante

El espesante es utilizado para tener un control apropiado de la densidad del preparado. Entre los diversos compuestos destacan el carbonato de sodio, espato pesado o blanco de barita (García, 2019).

Humectante

Agente cuya misión es controlar el nivel de secado al mismo tiempo que actúa como ligante y flexibilizante. A modo de ejemplo, se pueden mencionar a las glicerinas, glicoles, etc. (García, 2019).

Olorante

Elemento que proporciona un olor agradable a la tinta. Además, también puede encargarse de reducir el olor desabrido que la tinta pudiera tener a causa de alguno de sus compuestos u originado por la mezcla de los mismos. Como olores más típicos se pueden mencionar la esencia de ámbar gris, de almizcle, terpineol, etc. (García, 2019).

Antiséptico

El antiséptico se encarga de inhibir la actividad microbiana que pueda florecer en la tinta. Destaca el fenol, ácido bórico, ácido acrílico, esencia de clavo; bicloruro de mercurio, alumbre, tomillo o espliego, naftol... (García, 2019).

Penetrante

Sustancia que favorece la inclusión de la tinta en el soporte, tal y como se encarga de hacer el alcohol.

Abrillantador

Elemento que aporta el brillo particular a la tinta. Los más comunes son: café, goma laca, azúcar, resina de colofonia y cerveza (García, 2019).

Anticongelante

Se encarga de reducir el punto de congelación de la tinta (García, 2019). Sobresalen los glicoles y los alcoholes. Se empleaba sobre todo en regiones con climas propensos a bajas temperaturas (Crespo & Viñas, 1985).

5.2.3 Componentes específicos de las tintas ferrogálicas

Como se ha comentado en el apartado 5.1 de este capítulo, las tintas más utilizadas en los manuscritos solían ser elaboradas por la combinación de un metal con un compuesto ácido, conocidas comúnmente como metaloácidas. En el caso de que el metal empleado fuera el hierro, más concretamente la sal de sulfato ferroso, y fuera combinada con ácido gálico, las tintas se denominaban ferrogálicas. La mayoría de las recetas históricas presentan como compuestos principales el ácido gálico, el sulfato de hierro, goma y agua. No obstante, dichas recetas difieren bastante en lo referente al método de obtención de algunos de esos componentes o en su procedencia, así como las cantidades que se precisan y el modo de preparación de la tinta en sí (Kolar, 2006).

Así, dichos compuestos se obtenían normalmente de tres ingredientes claves: taninos, vitriolo y goma arábiga. Como se ha indicado anteriormente, solía añadirse también agua, aunque, en ciertas ocasiones, ésta podía ser reemplazada por cerveza o vino para reducir la presencia de impurezas (James, 2000).

Por tanto, en lo referente a los principales ingredientes de tintas ferro gálicas, a continuación se presentan las características de los mismos, además de varios aditivos que confieren a las tintas distintas propiedades (Karnes, 1998) (Eusman, 1998).

5.2.3.1 Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos obtenidos de materiales vegetales y son la principal fuente del ácido galotánico. Entre las diversas propiedades que presentan, se encuentran: sabor amargo, protege a las pieles animales de la descomposición mediante el curtido y capacidad de precipitar proteínas, y conforma complejos de color café, negro o verde con variadas sales de hierro (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005); siendo esta última característica la más importante desde el punto de vista de la elaboración de tintas ferrogálicas.

Los taninos empleados para hacer este tipo de tintas suelen obtenerse principalmente de las agallas o nueces de diversos árboles (ver Figura 10), generalmente de la familia de los robles. Estos elementos son producidos por el propio árbol a modo de protección, cuando insectos como áfidos y avispas depositan sus larvas sobre las ramas, brotes y hojas de la planta (Daniels, 2001). Dichas larvas producen sustancias irritantes que propician que el árbol en cuestión genere las agallas entorno a ellas. De esta forma, los insectos, una vez alcanzada la madurez, salen de la nuez haciendo un orificio a la misma sin llegar a dañar y afectar al resto del árbol (Eusman, 1998) (Dorning, 2000).



Figura 10. Nuez de agallas (Webmeichant, 2020)

La calidad y cantidad de taninos a obtener depende del tipo de agalla y de la época del año en la que tiene lugar la recolección. En el caso particular de Europa, las agallas más recomendadas y empleadas eran las de Aleppo, pertenecientes al roble *Quercus infectoria*, el cual era un árbol nativo del Cercano Oriente, Norte de África y Sur de Europa (Dorning, 2000). Este tipo de agallas, junto con las de Levante y las nueces pertenecientes a robles chinos y japoneses, eran las que mayor contenido de taninos presentaban; entorno al 60-70% frente al 20% que presentaban las del roble inglés *Quercus robur* (Eusman, 1998). Asimismo, también se usaron agallas o nueces formadas por árboles de géneros distintos al del roble, como es el caso de *Ilex*, *Pistachio* y *Tamarix*, entre otros (Dorning, 2000).

Además, es importante distinguir entre las agallas que aún mantenían en su interior una o más larvas y aquellas en las que el insecto ya no se encontraba. Las primeras se denominaban agallas azules y presentaban un alto contenido de taninos en comparación con el segundo tipo, conocidas como agallas blancas. A causa de dicha característica, las agallas azules permitían elaborar tintas de mejor calidad y, por lo tanto, presentaban un precio más elevado que las agallas blancas, las cuales podían ser reconocidas por tener uno o más orificios por donde habían salido los insectos (Eusman, 1998).

Por este motivo, es interesante mencionar que algunos comerciantes, con el fin de lograr más ganancias, trataban de resanar los orificios de salida de las agallas blancas y hacerlas pasar por nueces azules, vendiéndolas a un precio más alto sin ser verdaderamente el producto con las propiedades esperadas (Dorning, 2000).

Asimismo, en varias recetas también se puede encontrar la alusión de estos dos tipos de agallas, diferenciándolas con los términos de agallas frescas y agallas secas. Al usar agallas frescas, es decir, agallas azules, el extracto de taninos obtenido era más oscuro y reactivo que en el caso de utilizar las agallas secas (agallas blancas) (James, 2000).

No obstante, las agallas no son la única fuente de taninos que puede ser empleada para la elaboración de las tintas ferrogálicas. Existen materiales vegetales que permiten obtener taninos, aunque en menor medida, entre los que pueden mencionarse: corteza de robles, álamos, sauces y abetos; madera de castaño y olmo, hojas de zumaque, así como cáscara de nueces y granadas (Eusman, 1998). Igualmente, también se usaban taninos ‘reciclados’; los cuales eran recuperados a partir de remojar en agua retazos de cuero curtidos con los mismos (Dorning, 2000).

Los fabricantes de tintas ferrogálicas clasificaron los taninos utilizados en dos categorías. En función de su origen y del color obtenido cuando reaccionaban con las sales metálicas, se tienen (Dorning, 2000):

- **Taninos hierro-azulados (*Iron blueing*):** logrados generalmente a partir de agallas. Estos taninos al entrar en contacto con sales de hierro daban lugar a compuestos negros-azulados y, por tanto, las tintas eran más permanentes y de color oscuro.
- **Taninos hierro-verdosos (*Iron greening*):** taninos extraídos de otras fuentes distintas a las agallas (cortezas, frutos, vainas, etc.). Cuando reaccionaban con sales de hierro, se originaba un compuesto verdoso y la tinta presentaba un tono más claro respecto al anterior tipo, tendiendo a decolorarse o a adquirir una apariencia similar al óxido.

El tanino obtenido de las agallas y de las otras fuentes vegetales es el ácido galotánico (también conocido como ácido tánico). Este ácido consiste en una molécula de glucosa con cinco moléculas de ácido gálico o digálico (Eusman, 1998). En la Figura 11 puede apreciarse la configuración que presenta la molécula del ácido galotánico.

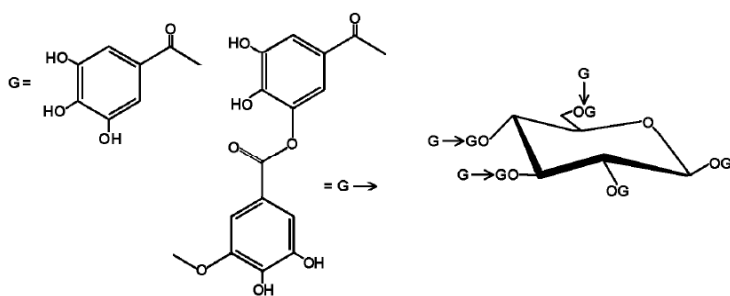


Figura 11. De izquierda a derecha: moléculas del ácido gálico, ácido di-gálico y ácido galotánico (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005)

Su extracción de las agallas o nueces puede realizarse de diversas formas, como puede ser: mezclado con agua, macerado, cocinado o por fermentación. Según el proceso elegido, será posible obtener mayor o menor cantidad de taninos, siendo el proceso de la fermentación el que más taninos hidrolizables ofrece (Flemay, 2013).

Uno de los procesos más típicos para extraer el ácido galotánico de las agallas y conseguir posteriormente el ácido gálico consiste en la trituration de las nueces hasta lograr un polvo fino que pueda mezclarse seguidamente con agua. Tras ello, se hierva la mezcla durante un tiempo determinado, ya sea en agua o en vino para la liberación de los taninos. Además de ello, el proceso

se podía complementar con la fermentación del conjunto generado anteriormente y obtener un producto parecido al moho. Esta opción permitía liberar el ácido galotánico de forma paulatina, al mismo tiempo que se iba transformando la solución en ácido gálico (García, 2019).

El ácido gálico que conforma el ácido galotánico es el que reacciona en mayor medida con el sulfato de hierro. Para ello, era necesario que las moléculas del ácido galotánico se hidrolizaran. Por lo que durante el proceso de fermentación de las agallas, se liberan una serie de enzimas que reaccionan con la glucosa de la molécula, hidrolizándola y liberando el ácido gálico (Eusman, 1998).

La reacción del sulfato de hierro con el ácido gálico da lugar a un compuesto de hierro-tanino, el cual es responsable del color oscuro de la tinta. Por tanto, cuanto mayor sea la cantidad de ácido gálico, mejor y más estable será la tinta debido a que habrá más posibilidades de vinculación del ácido gálico con el hierro. Cuando el método usado para obtener ácido gálico es la fermentación por moho, las tintas producidas serán de un negro rico y oscuro (García, 2019).

5.2.3.2 Vitriolo

El término vitriolo hace referencia a la palabra 'vidrio' y se empleaba generalmente para denominar a algunas sales con aspecto vidrioso, como es el caso del sulfato ferroso o el sulfato cúprico, siendo ambas sales utilizadas frecuentemente en la elaboración de las tintas ferrogálicas (García, 2019).

El sulfato ferroso es una sal de hierro soluble en agua, comúnmente llamado vitriolo verde por el destacable color verdoso que mostraba (Daniels, 2001). Es ligeramente corrosivo, llegando a dejar una marca en la superficie del papel o pergamino de forma permanente, incluso cuando no se encuentra mezclado con los taninos (Dorning, 2000).



Figura 12. *Vitriolo verde o sulfato ferroso* (Pedro, 2019)

El vitriolo se obtenía directamente en minas realizando distintas técnicas. Entre ellas, la que más destacaba era aquella en la que el sulfato ferroso habitualmente era recolectado en estado líquido, conforme iba escurriendo en el interior de la mina. Posteriormente, el agua que contenía la mezcla se evaporaba y la sal se cristalizaba. Asimismo, otra de las técnicas más utilizadas consistía en almacenar el sulfato ferroso en barriles con cuerdas suspendidas en el interior de los mismos, con el objetivo de que la sal cristalizara sobre ellas; adicionándose en ocasiones fragmentos de hierro a la solución para incrementar el contenido de sulfato ferroso obtenido. Igualmente, esta sal de hierro también podía producirse mediante la oxidación atmosférica de la pirita de hierro (bisulfuro de hierro) y como subproducto de la manufactura del alumbre, dando lugar a que el aluminio estuviera en el vitriolo como impureza (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005) (Eusman, 1998).

Como se ha mencionado al inicio del apartado, también se utilizaron otras sales para la elaboración de tintas ferrogálicas. Dichas sales podían ser mezcladas con el sulfato ferroso o sustituir a éste como ingrediente en la preparación de la tinta; aunque el color que originaban era menos intenso que en el

caso del vitriolo verde (James, 2000). Así, entre las diversas sales utilizadas destacan el acetato de hierro, el cloruro de hierro y, principalmente, el sulfato de cobre; también conocido como vitriolo azul (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). Es interesante comentar que en numerosas ocasiones el sulfato de cobre era añadido a la tinta con el convencimiento de que el compuesto resultante era menos propenso a decolorarse; sin embargo, dicha conjetura se desestimó, ya que se comprobó que la tinta se decoloraba igualmente cuando era expuesto a la luz el soporte gráfico en el que estaba aplicada (Baker, 1985). Asimismo, las tintas elaboradas únicamente con sales de cobre presentaban unas tonalidades mucho más débiles, lo cual era debido principalmente a las bajas concentraciones de hierro que contenía a modo de impureza (Kolar, 2005).



Figura 13. *Vitriolo azul o sulfato de cobre* (Pedro, 2019)

Debido a la gran variedad de términos empleados para referirse a las sales metálicas utilizadas en la preparación de las tintas ferrogálicas, es probable que hubiera cierta confusión sobre la sal recomendada en cada receta; dándose sobre todo entre los vitriolos verde y azul, puesto que no se hacía referencia específicamente a su color. Por ello, no se descarta la posibilidad de que fueran utilizados de manera indistinta. A causa de esto, durante décadas no hubo una clara diferencia en el uso del sulfato de hierro y el de cobre, hasta que en el siglo XVII en Europa, el sulfato ferroso no fue mencionado de forma explícita y usado exclusivamente en la mayoría de las recetas (James, 2000).

Asimismo, es importante mencionar que las sales metálicas contenían impurezas de otros metales, las cuales variaban según la región donde se obtenían los minerales (Kolar, 2005). No obstante, estos metales no participaban en el tipo de color que la tinta presentase, pero sí intervenían de forma directa en los mecanismos de deterioro de los soportes de papel (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). A modo de ejemplo, puede indicarse que el vitriolo verde solía tener, acompañando al sulfato de hierro, trazas importantes de cobre, zinc, manganeso y aluminio (Neevel, 2002) (Eusman, 1998).

5.2.3.3 Goma arábica

Es una goma de origen vegetal obtenida de los árboles de acacia en África, India y Australia, especialmente del *Acacia Senegal* (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). La goma arábica es un polisacárido soluble en agua y su color puede ir desde el blanco-amarillento hasta el anaranjado, con cierta apariencia ámbar (Hawley, 1992) (Eusman, 1998).

Actúa como aglutinante en tintas y pinturas, así como en barniz para acuarelas. En la producción de las tintas ferrogálicas tienen como función principal mantener en suspensión las partículas del pigmento insoluble que se crea de la reacción entre el ácido gálico y el sulfato ferroso (Bazemore, 2016). Asimismo, también se encarga de aportar mayor viscosidad a la tinta, proporcionándole más cuerpo y facilitando su uso, para que ésta fluya mejor en el momento de aplicarla con pluma o pincel sobre el soporte gráfico, además de favorecer su ‘anclaje’ en el papel (Neevel, 1995) (Dorning, 2000) (Kolar, 2005).

Además, la goma arábica mantiene la tinta sobre la superficie del papel durante unos segundos, lo

cual permite conseguir un trazado más nítido y claro (Rouchon, 2011), así como crear una capa protectora sobre la tinta que no estaba utilizándose con el fin de prevenir que la tinta absorbera oxígeno atmosférico en exceso y se oxidara (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). Por último, el aglutinante también suministraba a la tinta mayor brillo y saturación del color (Eusman, 1998).

Finalmente, en algunas recetas se indican otros materiales utilizados a modo aglutinante, como es el caso de la azúcar, la miel o la clara de huevo. Estos ingredientes podían ser añadidos junto con la goma como sustituyéndola (Eusman, 1998) (Cleveland, 2000).

5.2.3.4 Agua

El agua es el ingrediente más común en la mayoría de las antiguas recetas, ya que actúa como medio en el que tiene lugar las reacciones del ácido y la sal.

No obstante, en algunas recetas pueden optar por cambiar el agua por vino o vinagre, los cuales aportan más acidez a la mezcla, lo que favorece a acelerar la reacción entre el ácido gálico y el sulfato de hierro. La incorporación a la tinta de sustancias con un determinado contenido de alcohol presentaba, además, las siguientes ventajas: actuaban como fungicidas, facilitaban la extracción de los taninos y aportaban más de los mismos, y favorecían la penetración de la tinta en el soporte gráfico (James, 2000).

5.2.3.5 Aditivos

En casi todas las recetas para elaborar tintas ferrogálicas se mencionan uno o más aditivos además de los tres componentes básicos expuestos anteriormente. La mayoría de ellos tenían como objetivo facilitar la preparación de la tinta e intensificar su color. Sin embargo, a causa de su naturaleza, muchos de ellos también contribuyen al deterioro de las mismas.

Los aditivos más citados frecuentemente en las recetas de tintas ferrogálicas son:

a) Ácidos

También conocidos como mordientes. Eran usados para acelerar la hidrólisis del ácido galotánico contenido en las agallas o nueces, facilitando la extracción del ácido gálico y así obtener más del mismo. Asimismo, se agregaban para retrasar la oxidación de la tinta y preservarla en su estado soluble (ferroso) por más tiempo, ya que en un ambiente ácido se produce la inhibición del proceso de oxidación responsable de la formación del galato férrico (insoluble).

Tal y como se comentó en el apartado 5.2.1.4, los ácidos más utilizados para este fin fueron el ácido clorhídrico, el sulfúrico y, con mayor frecuencia, el acético (vinagre) (Eusman, 1998) (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). Así, en numerosas recetas de tintas se sugiere que se agregue este último ingrediente. No obstante, existían otras en las que ya se indicaba que el vinagre era perjudicial por su acción corrosiva sobre el papel. Una receta del siglo XIII mencionaba puntualmente: *never add vinegar* (nunca agregue vinagre) (James, 2000).

b) Colorantes y pigmentos

Ambos ingredientes son materiales que aportan color a la tinta. Los colorantes son solubles en agua y/o solventes orgánicos, entretanto los pigmentos son elementos sólidos e insolubles, los cuales se mantienen en suspensión con su aglutinante. A causa de su insolubilidad, los pigmentos suelen quedarse sobre la superficie de los materiales en los que se aplican, mientras que los colorantes tienen tendencia a penetrar en el soporte a teñir.

Son materiales utilizados para facilitar la escritura cuando la tinta se encontraba recién preparada y mostraba un color muy tenue. Ambos componentes pueden clasificarse como ‘provisionales’,

ya que su función finalizaba cuando tenía lugar la oxidación de la tinta sobre el papel, lo que daba lugar a que adquiriera una coloración más oscura y que recubriera al pigmento o colorante. Además, a causa del aumento de la acidez de la tinta conforme pasaba el tiempo, varios colorantes orgánicos llegaban a padecer alguna alteración o incluso a ser destruidos por completo (James, 2000).

Entre los colorantes más comunes se encontraba el índigo (azul), el palo de campeche (rojo) en menor medida y las anilinas (azules y violetas) posteriormente. El pigmento que era añadido principalmente a las tintas ferrogálicas era el carbón (negro) (James, 2000).

En ciertas tintas, mayormente las europeas y estadounidenses, era bastante normal agregar elevadas cantidades de colorantes y aglutinantes para emplearlas durante el proceso de *copy press*. Dicha técnica fue el primer método de reprografía, logrando generar hasta 10 copias del mismo documento. Fue desarrollado en Londres en 1780, teniendo su época de esplendor entre 1850 y 1900, especialmente en Europa y Estados Unidos (Cleveland, 2000).

No obstante, en algunos casos más específicos y menos comunes, los colorantes no eran considerados como provisionales y ejercían a modo de entonantes, es decir, conferían cierta tonalidad (calidad o fría) a la tinta pero sin llegar a modificar su color base. Tal es el caso del índigo, el cual se usaba para obtener tintas ferrogálicas conocidas como negro-azuladas (Dorning, 2000).

c) Fungicidas

Como se mencionó en el apartado 5.2.2.4, los fungicidas eran añadidos para inhibir el desarrollo de microorganismos en la tinta ya preparada. Los más comunes para este caso eran: alcohol, ácidos, clavo y alumbre (Eusman, 1998).

d) Anticongelante

En las regiones que se caracterizaban por tener un clima frío, se solía agregar a la tinta una determinada cantidad de alcohol para evitar su congelamiento. Entre los más destacados se encuentra el uso del brandy para tal fin (Eusman, 1998).

5.3 Preparación de las tintas ferrogálicas

Como es lógico pensar, algunas recetas solían emplearse con mayor frecuencia que otras, ya sea por la buena calidad que las tintas mostraban o por la sencillez del procedimiento que recogían. Además, la duración del proceso de fabricación también jugaba en favor o no de dichas recetas. La elaboración de la tinta ferrogálica podía llegar a durar meses, aunque la reacción entre los taninos y las sales ferrosas para formar el complejo tanato ferroso es inmediata; por tanto, estas tintas podían ser elaboradas en cuestión de minutos.

En cuanto a la extracción de los ingredientes, existían distintas formas de hacerlo y el modo de preparación de la tinta era diferente entre una receta y otra. No obstante, todas ellas efectuaban los siguientes pasos básicos (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005):

1. Extracción del ácido gálico de las agallas o fuentes de taninos.
2. Adición del sulfato ferroso al ácido gálico extraído, originando el color negro de la tinta.
3. Incorporación del aglutinante y los aditivos.
4. Filtrado de la mezcla resultante.

Asimismo, respecto al método utilizado para ejecutar estos pasos, pueden indicarse tres procesos

diferentes (Reissland, 2008):

- a) Dilución y mezclado inmediato de los ingredientes.
- b) Aumento de la temperatura durante la extracción de los taninos y/o preparación de la tinta.
- c) Dejar reposar la tinta en ciertos pasos de la preparación, para su fermentación. Esto se realizaba con el objetivo de acelerar la hidrólisis del ácido galotánico, a partir de las enzimas producidas por ciertos microorganismos, tal y como se mencionó en el apartado 5.2.3.1.

Sin embargo, es importante indicar que los procedimientos comentados anteriormente podían hacerse tanto individual como complementariamente unos con otros; como podía ser el caso de calentar la mezcla para dejarla posteriormente fermentar.

Igualmente, también existen referencias de tintas ferrogálicas preparadas ‘en seco’, usadas sobre todo como tintas de viaje (Eusman, 1998). Para ello, las agallas, la goma arábiga y el sulfato ferroso eran pulverizados y luego se mezclaban con clara de huevo para formar una pasta, la cual era almacenada en frascos bien tapados para así evitar la oxidación de la tinta antes de tiempo (James, 2000). En el momento de su utilización solamente hacía falta solubilizar la pasta mediante la adición de agua. Asimismo, otro tipo de tinta ferrogálica de viaje se obtenía mediante el secado de la tinta ya preparada y suspenderla de nuevo en agua cuando quisiera emplearse. Sin embargo, esta segunda alternativa presentaba como principal desventaja la oxidación de la tinta, puesto que a más tiempo pasara desde su secado, más oxidada estaría la tinta y menos soluble sería (Eusman, 1998).

Teniendo presente la metodología expuesta para la fabricación de tintas ferrogálicas, a continuación se describen los pasos a ejecutar para la preparación de la misma, desde la extracción del ácido gálico hasta la formación del complejo ferrogálico de color negro.

5.3.1 Extracción del ácido gálico

Tal y como se ha comentado en apartados previos, para obtener el ácido gálico era indispensable hidrolizar el ácido galotánico contenido en las agallas o nueces, frutos, vainas y cortezas de varias plantas o cualquier otra fuente de taninos. Por tanto, el primer paso de cualquier receta era justamente la extracción del ácido galotánico y su hidrólisis, moliendo y remojando en agua o vino los trozos de estos materiales vegetales (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

Para favorecer la hidrólisis del ácido galotánico se realizaba un incremento de temperatura y/o se favorecía la fermentación de la solución; de esta forma se lograba una mayor cantidad de ácido gálico (Doming, 2000). Gracias a calentar la solución galotánica, las tintas fabricadas con ella conseguían tener una tonalidad más intensa que aquellas en las que los taninos eran extraídos en frío y/ mezclados de forma inmediata con el sulfato ferroso. Además, como se mencionó anteriormente, al agregar alcohol a la mezcla se favorecía la extracción del ácido galotánico debido a su solubilidad, así como la adición de ácidos que aceleraban la hidrólisis del mismo.

Las características finales de la tinta estaban influenciadas de forma directa tanto por la fuente de taninos empleada como por el método de extracción de los mismos. Según Lehner (1902), las tintas ferrogálicas podían clasificarse de acuerdo al método de extracción de los taninos expuesto en varias recetas (Dorning, 2000):

- **Tintas de taninos (*Tannin inks*):** en este caso, los taninos que se mezclaban con las sales de hierro no estaban fermentados. Por ello, se recomendaba en algunas recetas añadir fungicidas para evitar la aparición de microorganismos.
- **Tintas de ácido gálico (*Gallic acid inks*):** se realizaba la fermentación de los extractos de taninos para la obtención de más ácido gálico. Dicho proceso podía hacerse en periodos variables, dejando reposar la solución entre una y ocho semanas, previo al mezclado con las sales de hierro. Estas tintas presentaban más cantidad de ácido gálico que el tipo anterior y, por tanto, tendrían una tonalidad más oscura.

5.3.2 Formación del complejo colorido

El sulfato ferroso, seco y molido, era añadido a la solución de ácido gálico, formando galato ferroso, el cual es un complejo incoloro y soluble. Como subproducto de dicha reacción está el ácido sulfúrico, compuesto importante a tener en cuenta, ya que tendrá un papel importante en los mecanismos de deterioro de los documentos con tintas ferrogálicas (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

Justo después de dicha reacción, el galato ferroso empezaba a oxidarse con el oxígeno ambiental, originando el galato férrico, que es un compuesto de color negro-azulado e insoluble, el cual aporta la característica de permanencia al material gráfico (Eusman, 1998).

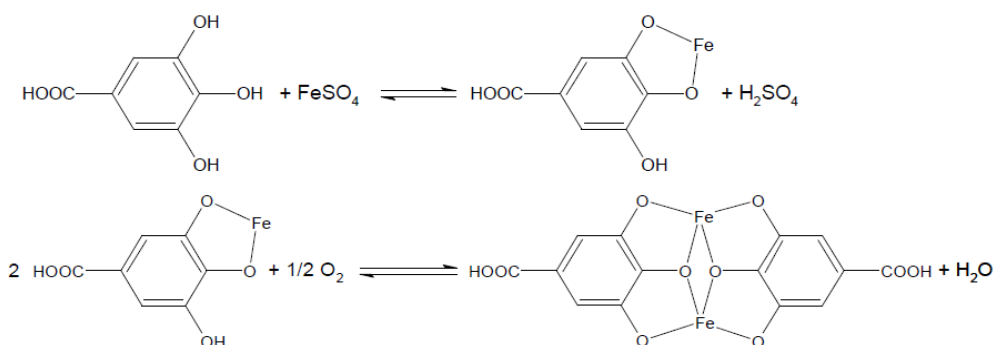


Figura 14. Mecanismo de formación del complejo ferrogálico (Remazeilles, 2001)

Es interesante indicar que mediante el análisis de varios artículos sobre la composición de las tintas ferrogálicas históricas y del deterioro ocasionado por las mismas en los soportes gráficos, así como la información obtenida en recetas antiguas, se puede apreciar que la adición de sulfato ferroso en cantidades superiores a las necesarias era una práctica muy habitual en la época, además de ser una acción bastante recomendada para la generación de tintas con un color más oscuro (Dorning, 2000). A consecuencia de ello, será imprescindible tener en cuenta este factor como mecanismo de deterioro de los manuscritos.

Las tintas ferrogálicas recién fabricadas albergaban por lo general una tonalidad que oscilaba entre el gris al café, verde o negro (Cleveland, 2000). Por ello, en ocasiones se recomendaba su aplicación inmediata en el soporte gráfico (James, 2000), ya que al administrarse sobre el soporte la tinta entraba en contacto con el oxígeno del ambiente, teniendo lugar la oxidación de los iones de hierro (II) en iones de hierro (III), los cuales serán insolubles en agua (Stuart, 2007). A causa de dicha oxidación, la tinta sufría un oscurecimiento, por lo que su tono grisáceo lóbrego desaparecía tras pasar un tiempo sobre el papel u otro soporte (Vergara, 2002). Para esta opción, se aconsejaba agregar colorantes o pigmentos provisionales. Por el contrario, en otros casos se sugería dejar reposar la tinta antes de su utilización durante un período de tiempo considerable (desde 10 días hasta varias semanas) (Cleveland, 2000). En esta segunda opción, la oxidación del complejo ferrogálico tenía lugar en el recipiente que albergaba a la tinta, por lo que el oscurecimiento de la misma era previo a su aplicación en el soporte (Neevel, 2002). Durante ese tiempo de reposo, en varias recetas se recomendaba batirla con frecuencia y/o calentarla puntualmente (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

5.4 Tipos de tintas

Desde el punto de vista de la conservación, las tintas deben clasificarse como estables e inestables. El primer grupo se caracteriza por presentar un conveniente equilibrio físico-químico ante factores ambientales, además de mostrar una buena neutralidad en relación al soporte que las sustenta. Por otro lado, las tintas inestables contienen ciertos elementos que, directa o indirectamente, originan su propia alteración o la del soporte que las contiene. Asimismo, se debe resaltar que un determinado tipo de tintas, conocidas como *permanentes*, pertenecen a este último grupo y, aunque efectivamente son virtualmente insolubles ante el agua, muestran una inestabilidad química resaltable, la cual puede llegar a producir graves e irreversibles daños al soporte (efecto corrosivo). En general, estas tintas corresponden al tipo de las denominadas tintas metaloácidas, que serán explicadas de una manera más extensa posteriormente y que contemplan a las tintas ferrogálicas (García, 2019).

Según los procedimientos más habituales en la aplicación de las tintas al soporte de papel, se pueden clasificar en tres grupos: tintas caligráficas, de imprimir y pictóricas (Belza, 2014).

5.4.1 Tintas caligráficas

Son empleadas principalmente para la escritura manual. Su característica más clásica y tradicional suele ser su fluidez; sin embargo, pueden mostrar estados muy variados y diferentes respecto a su viscosidad, dureza, etc. (García, 2019).

Entre los distintos tipos de este grupo, las de mayor interés son (Belza, 2014):

5.4.1.1 De carbón

Es considerada la más antigua y suele ser conocida por diversos nombres, de acuerdo con su origen o naturaleza (de huesos, de China, negro de humo, de India, etc.) (García, 2019).

Es la tinta más estable por excelencia a causa de que el carbón es su colorante básico, lo que significa que es una sustancia inalterable ante ácidos o álcalis, así como por la luz o por factores microbiológicos. Su alteración solo puede tener lugar ante la pérdida de propiedades mecánicas del aglutinante utilizado (García, 2019).

Los procedimientos más antiguos para su obtención se basaban en la semicombustión de materias orgánicas, preferentemente maderas resinosas, que finalmente eran molidas y mezcladas con el hollín que había producido la cremación. El polvo obtenido era amasado con el aglutinante escogido y se dejaba secar formando núcleos o pastillas, listas para obtener la tinta por simple disolución en agua (Belza, 2014). En algunos casos, era indudable que la tinta se obtendría directamente al disgregar el polvo en agua que dispondría de algún ligante, pues, de lo contrario, el desprendimiento de la tinta sería inmediato a su secado (García, 2019).

La mejor calidad de este tipo de tinta se lograba gracias a la finura del polvo. Por ello, el sistema preferido para obtener favorables tintas consistía en recoger el hollín que quedaba adherido en las superficies próximas al fuego. Precisamente, en las paredes de las lámparas alimentadas con aceite (Remazeilles, 2001).

Este procedimiento se vio optimizado y mejorado por la construcción de hornos especiales en los que, por combustión lenta de los materiales elegidos, se conducía al humo por unas chimeneas que disponían de filtros y pequeñas cámaras escalonadas en donde quedaban retenidas las partículas de diferentes grosores que eran arrastradas por el propio humo (García, 2019).

Aparte de las maderas resinosas de piceas, eran utilizados también los huesos de diferentes frutos, piel de uvas (orujo), samientos, marfil, grasas de animales y aceites vegetales. En los últimos años se incorporaron los hidrocarburos y el gas natural (García, 2019).

Sus aglutinantes más habituales fueron muchos y variados. Las gomas de árbol (como la arábica, adragante,...) y la miel se encontraban entre los ligantes glucídicos. Por otro lado, la gelatina, la clara de huevo, las colas de piel o pescado entran en la categoría de aglutinantes de proteínas. Finalmente, los aglutinantes lipídicos englobaban los aceites secantes, como el de nuez, de oliva, de lino, etc., los cuales eran capaces de secarse al aire cuando eran depositados como una capa fina sobre el soporte gráfico (Remazeilles, 2001).

A partir del siglo XIX se generalizó la incorporación de un mordiente para dificultar su borrado (García, 2019).

5.4.1.2 De sepia

La verdadera tinta de sepia se obtenía del árbol *Sepia Officinalis*, cuyo extracto contiene sustancias minerales y orgánicas insolubles en agua. Por tanto, no proviene del líquido negrozco que segregan ciertos moluscos cefalópodos marinos (sepia, calamar, etc.), ya que esta sustancia no presenta las mejores características para ser una auténtica tinta a pesar de su condición tintórea (García, 2019).

Su preparación se conseguía a través de la dilución del preparado en ácido para, posteriormente, realizar una neutralización. Y, por último, se mezclaba con agua y aglutinante.

Presenta una menor estabilidad que la tinta de carbón, además de tener una manifiesta sensibilidad frente al cloro, el cual convierte su color a uno anaranjado y la vuelve inestable a la luz (Crespo & Viñas, 1985).

5.4.1.3 De bistre

La tinta de bistre se obtiene por la cocción del hollín, destacándose por mostrar una coloración gris-ocre. En comparación con la tinta negra de carbón, alberga una calidad bastante inferior a pesar de que poseen componentes básicos similares (García, 2019). Ante la acción de la luz, la tinta se vuelve inestable; llegando a decolorarse hasta perder gran parte de su color (Crespo & Viñas, 1985).

5.4.1.4 De anilinas

La anilina es un líquido grasiento, ligeramente soluble en agua, que se obtiene por la transformación de la bencina (nitrobencina, clorobencina). Dicho compuesto se conseguía por la producción del carbón de piedra o del alquitrán de hulla, aunque antes de su industrialización se obtenía del índigo. Se caracteriza principalmente por ser un producto muy tóxico e incoloro recién obtenido, adquiriendo una tonalidad amarillo oscura cuando entra en contacto con el oxígeno (García, 2019). Asimismo, los aditivos más comunes de las anilinas son el agua, el alcohol, la glicerina, la goma arábica, el alumbre; ácido fénico, salicílico, sulfúrico, sulfato sódico, carbonato sódico, urea, etc. (Bazemore, 2016).

Su aplicación generalizada como base de los colorantes sintéticos o artificiales se produce a mediados del siglo XIX (1856) con la obtención de las *fucinas* de color rojo, violeta de metilo, pardo de Bismark, etc. (García, 2019).

La composición básica de las actuales tintas a base de anilinas resulta ser una verdadera complejidad, a causa de su carácter sintético y por pertenecer a diversas patentes industriales.

Las primeras anilinas eran muy sensibles a la luz y al aire, por lo que el progreso de ellas con el tiempo ha desembocado en un tipo de anilina que posee una serie de determinados colorantes que le brinda mayor firmeza y estabilidad. Además, se caracterizan por ser también muy sensibles a los medios químicos, por tener poca duración y resistencia, así como por ser habitualmente neutras (Crespo & Viñas, 1985).

La identificación de estas tintas se facilita por el hecho de que todos los derivados del alquitrán se ennegrecen al ser calcinados a causa de su composición orgánica (García, 2019).

5.4.1.5 Metaloácidas

En este grupo se incluyen todas aquellas tintas cuyos componentes básicos están formados por un colorante a base de un metal y un compuesto ácido que actúa como agente de oxidación a la vez que de mordiente, es decir, como fijador químico del color (García, 2019).

Las tintas metaloácidas que conforman este tipo son: de campeche, de alizarina, de vanadio y ferrogálicas o de hierro (Crespo & Viñas, 1985).

De campeche

El campeche es un árbol leguminoso con una madera negruzca y dura de la cual se obtiene, mediante cocción, la hematoxilina. Dicha sustancia al oxidarse origina la hemateína, cuyas características colorantes son muy aptas para la elaboración de tintas. En un principio, el extracto de *palo de campeche* tiene una coloración rojiza, la cual cambia a tonos negro-azulados al combinarse con varias sales metálicas (García, 2019).



Figura 15. Palo de campeche (Handmade, 2017)

Generalmente, esta tinta es muy sensible a la luz, factor que ocasiona su decoloración muy fácilmente, al igual que los agentes de blanqueo. Son de naturaleza ácida y oxidable en razón de sus componentes, además de ser resistentes al agua (García, 2019).

De alizarina

La alizarina es una sustancia colorante roja que se extrae de la *Rubia tinctorum*, aunque no tienen ninguna relación con las tintas denominadas con ese nombre. Están formadas por la combinación de una sal de hierro, disuelta en su mayor parte por ácido, y un material colorante, el cual suele ser una solución de índigo en ácido sulfúrico (Crespo & Viñas, 1985).

La diferencia principal de esta tinta con las ferrogálicas se basa en que estas últimas albergan un colorante en forma de un polvo finísimo dispersado y en suspensión, gracias al espesante o aglutinante. En el caso de las tintas de alizarinas, las cuales también tienen una coloración a base del tanato o galato de hierro, el colorante se conserva en solución, gracias a la adición de un ácido que mantiene a la sal ferrosa diluida; siendo ésta oxidada sobre el papel y transformada en sal férrica, de color negro (García, 2019).

Presentan una gran acidez e inicialmente tienen una débil coloración verdosa parda que se va convirtiendo en un tono negro intenso al cabo de cierto tiempo de ser aplicadas sobre el soporte, debido a la transformación de las sales ferrosas en férricas al ser oxidadas por el aire (Crespo & Viñas, 1985).

De vanadio

Berzelius, en el año 1832, propuso la sustitución del hierro de las tintas tánicas por vanadio, al observar que el vanadato amónico aportaba a las soluciones ácidas un coloreado intensamente negro (García, 2019).

Son insensibles a los ácidos, álcalis y cloro, salvo que estén recién aplicados. Con los álcalis toman un color amarillento, mientras que con el cloro, el bromo y el permanganato de potasio pierden algo su intensidad sin llegar a desaparecer. A causa de su contenido ácido, también será una tinta con efectos muy corrosivos (Nicolalde, 1960).

Ferrogálica o de hierro

A este tipo de tintas se les conoce también como tintas de agallas, taninas o de caparrosa. En cualquier caso, como ya se ha comentado en puntos anteriores, son el resultado de la combinación de un compuesto ácido y una sal de hierro (García, 2019).

La interacción química de la tinta biliar de hierro con el papel le dio una permanencia frente al paso del tiempo que la hizo muy popular durante siglos.

Los componentes cruciales de la tinta de agallas de hierro, como se expuso en el apartado 5.2.3, son una fuente de tanino, que aporta el compuesto ácido, y una fuente de hierro, es decir, la sal de hierro, la cual antiguamente era utilizada como mordiente para teñir textiles, principalmente (Betty, 1982).

A las tintas ferrogálicas comercialmente se las denominan *permanentes*, ya que se muestran estables frente al agua por ser insolubles en este medio. No obstante, esta propiedad no puede ocultar la alta inestabilidad química que poseen y que es motivo de uno de los mayores daños en la documentación gráfica. Este mismo daño va implícito a la propia tinta, puesto que uno de sus componentes básicos es un ácido que, debido a la propia reacción con el sulfato ferroso, se transforma en ácido sulfúrico, el cual se incorpora al papel consustancialmente a la tinta (García, 2019). Dicho ácido, altamente corrosivo, puede ser neutralizado en parte por la misma alcalinidad del papel o por alguno de los componentes complementarios de la tinta pero, generalmente, su presencia se pone pronto de manifiesto al originar la desintegración del papel en los trazos más intensos (ver Figura 16) y, tras ello, en las zonas colindantes por razón de su emigración (Crespo & Viñas, 1985).

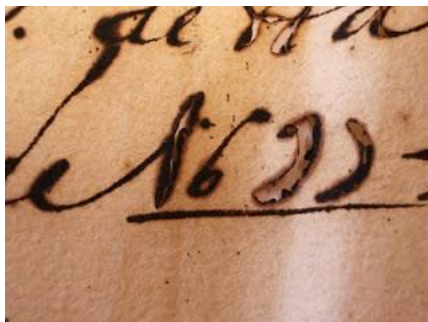


Figura 16. Trazos de tinta ferrogálica sobre soporte de papel (Anxova, 2016)

Por su parte, esta acción desintegradora del ácido se ve favorecida por la presencia del hierro ya que, junto al deterioro que ocasiona su propia oxidación degradando a la celulosa, es catalizador del

dióxido de azufre presente en la atmósfera, donde se combina fácilmente con la humedad del ambiente y forma de nuevo ácido sulfúrico (García, 2019).

Asimismo, tanto por el propio ácido de la tinta como por el formado a partir de la acción catalizadora del hierro, resulta que estas tintas poseen un alto grado de acidez, mayor cuanto más alto sea la participación inicial del ácido y del hierro (García, 2019).

En 1660, Caneparius expone la importancia de la relación entre la proporción de hierro y de taninos en la tinta ferrogálica, no solo con el propósito de obtener color, sino también para su estabilidad con el paso del tiempo, lo que desemboca en que comience a hacer cálculos para determinar la proporción ideal de los componentes de la tinta (Dorning, 2000). Cien años más tarde, Lewis en 1797, es el primero en describir de manera sistemática el deterioro ocasionado por las tintas ferrogálicas, advirtiendo que un exceso de sulfato ferroso con respecto a la cantidad de taninos añadidos, afectaba a la permanencia de la tinta a largo plazo, además de que la elevada acidez de las tintas producía el deterioro del soporte (Neevel, 2002).

Lehner, en 1902, hace alusión a que en la fabricación de las tintas ferrogálicas, las sales de hierro eran las que generalmente se agregaban en exceso y no los taninos, a pesar de que para ese entonces la ferrogálica ya llevaba siendo la más utilizada para escribir al menos siete siglos (Dorning, 2000). En el año 1908, Schlutting y Neuman, indican, así como otras características, que las tintas ferrogálicas debían tener un contenido mínimo de sulfato ferroso (entre 4 y 6 gramos por litros) (Cleveland, 2000).

En el siglo XX, a partir de la investigación de diversos trabajos como los de Lewis y Lehner, centrados en la observación y estudio de la gran variedad de documentos de distintos siglos escritos con tintas ferrogálicas, así como de la colaboración entre científicos y conservadores, las tintas ferrogálicas pueden clasificarse en tres tipos, en función de la proporción entre taninos y sales de hierro (Axer, 2003):

- **Tintas balanceadas:** no presenta exceso de ninguno de los dos componentes y, por tanto, se puede indicar que es una tinta ferrogálica estable. No obstante, este tipo de tinta es prácticamente imposible de conseguir, a pesar de conocer la proporción adecuada, a causa de los materiales empleados para su fabricación. En este grupo, la proporción de hierro-taninos equivale a 3,6:1, es decir, por cada 3,6 partes de sulfato ferroso se debe añadir una parte de taninos; lo que origina la tinta ferrogálica 'ideal', la cual no sería susceptible al deterioro conocido como *corrosión de la tinta*.
- **Tintas desbalanceadas I:** estas tintas se encuentran desbalanceadas al hierro, es decir, que presentan un exceso de iones de hierro (Fe^{2+}). Dichos iones desempeñarán el papel de catalizadores de reacciones en los mecanismos de deterioro de las tintas y el soporte, dando lugar a que los documentos escritos con ellas sean susceptibles a presentar la corrosión de la tinta. Como se mencionó anteriormente, este tipo de tintas ferrogálicas era el más común, ya que en las recetas solía recomendarse agregar más sulfato ferroso del que se requería para lograr que la tinta fuera más oscura. En este caso, la proporción de sales de hierro es mayor que 3,6:1 de taninos, es decir, hay más de 3,6 partes de sulfato ferroso por cada parte de taninos.
- **Tintas desbalanceadas II:** este último grupo se caracteriza por encontrarse desbalanceadas a los taninos, por lo que presentarán un exceso de taninos. A causa de ello, las tintas mostrarán una tonalidad más clara (café-amarilla) y tenderán a decolorarse. Estas tintas ferrogálicas no exhibirán el típico deterioro por corrosión, pero sí que pueden generar la hidrólisis en el papel por el exceso de ácido gálico. La proporción de iones de hierro es menor que 3,6:1 de taninos, esto es, habrá menos de 3,6 partes de sulfato ferroso por cada parte de taninos.

Es importante aclarar que el color de la tinta ferrogálica no necesariamente indica el tipo de tinta del

que se trata y, en la mayoría de los casos, un análisis a simple vista no llegar a ser suficiente para especificar si la tinta está desbalanceada (Odor, 2013).

Además de todas estas tintas caligráficas, existen muchos más subgrupos como pueden ser las tintas de cintas de máquina de escribir, de papel de carbón para copias; de bolígrafo, de rotulador, de estilográfica... No obstante, en comparación con todas las mencionadas anteriormente, no son de destacable importancia para el objetivo del proyecto.

5.4.1.6 Incompletas

Esta denominación se le da a aquellas tintas en las que puede apreciarse la carencia de uno de los ingredientes esenciales que forman parte de tu receta.

Generalmente, se asocian más con las tintas ferrogáficas, ya sea porque carecían de taninos, de la sal metálica o del propio aglutinante (Remazeilles, 2001).

5.4.1.7 Mixtas

Son tintas cuyas recetas albergan simultáneamente ingredientes de tintas de distinta naturaleza. Tal es el caso, por ejemplo, de una tinta de carbón a la que se le ha añadido taninos o sales metálicas o una tinta ferrogáfica a la que se ha incorporado carbón para oscurecer su tonalidad.

Desde el punto de vista físico-químico, este grupo de tintas pueden ser clasificadas acorde a cada uno de los tipos mencionados anteriormente (Remazeilles, 2001).

5.4.2 Tintas de impresión

Este tipo de tinta se diferencia del grupo anterior por sustituir el disolvente acuoso que caracteriza a éstas por un medio graso, comúnmente conocido como barniz. Dicho barniz, actúa como vehículo de aplicación del colorante, por lo que tiene una meta distinta en comparación al concepto general que se tiene del barniz, es decir, no actúa como una sustancia de protección por recubrimiento (García, 2019).

Se obtiene por cocción, desengrase y purificación del aceite de lino (linaza), aunque recientemente está siendo sustituido por resinas sintéticas. Las primeras tintas de imprenta hicieron uso de otros aceites vegetales, entre los que puede destacarse especialmente el nogal (Crespo & Viñas, 1985).

De acuerdo con la mezcla que se lleve a cabo de dicho barniz con diferentes tipos de disolventes, secativos y espesantes, se origina una amplia variedad de tintas; las cuales se distinguen entre sí en virtud de su viscosidad, penetrabilidad, velocidad de secado, fiabilidad, etc. (García, 2019).

La diversidad de estas tintas se corresponde con las diferentes técnicas impresoras o estamadoras, en razón a las particularidades de su aplicación e, incluso, destino. En términos generales, las más destacables son (Crespo & Viñas, 1985):

- **Tipográficas:** en este tipo se agrupan las tintas para periódicos y de tirada de lujo. Las primeras utilizan medios de baja calidad, acordes a la efímera exigencia de tal medio de comunicación (aceites minerales, de resina, alquitrán de hulla, negro humo, etc.). Se emplean aceites minerales, de resina y hulla, junto con secativos de rápido efecto, compatibles con las características absorbentes del papel de periódico. Las tintas tipográficas orientadas a grabados o ediciones de mejor calidad seleccionan más severamente el tipo de colorante, emplean barnices de aceite de linaza refinado y como

aditivos usan melaza o colofonia (García, 2019).

- **Litográficas y zincográficas:** utilizan negro de humo (carbón), el cual se encuentra disperso en aceite de lino al que se incorpora una sustancia grasa para potenciar la adherencia de esta tinta sobre la piedra o plancha metálica (García, 2019). Son comunes las ceras, el sebo, la grasa de buey, el aceite de oliva, etc.
- **De huecograbado:** utilizan como disolventes hidrocarburos aromáticos como el benzol, así como agua, alcohol o aceite vegetal.
- **De offset:** utilizan un bamiz a base de aceite de lino con un secativo muy rápido en presencia de un disolvente que aporta a la tinta fluidez y secado instantáneo.
- **Para estampación de talla dulce:** presenta escasa diferencia con las tintas tipográficas (García, 2019). El bamiz empleado, de aceite de lino viejo o de aceite de nueces, es menos hervido, lo cual permite generar una calidad de aceite fuerte, graso y claro.

5.4.3 Tintas pictóricas

Las tintas pictóricas engloban un amplio rango de tipología, por lo que sería muy complejo delimitar y describir todos sus tipos. Cada mezcla se encuentra caracterizada por las peculiaridades típicas de su autor, de la época en la que se desarrolla, de las obras en las que vayan a ser aplicadas, etc. (García, 2019).

En líneas generales, puede decirse que la aparición de los pigmentos de origen sintético, especialmente las anilinas, dificultan todavía más su identificación, puesto que sus componentes son en su mayoría patente industrial, con lo cual no suele trascender más allá de los límites del laboratorio en donde se obtienen.

Su complejidad química tampoco facilita su identificación analítica y, especialmente, los colores que se ofrecen en la actualidad en el mercado son de composición realmente indescifrable a los niveles habituales.

Entre las tintas o pigmentos de colores más típicos de los clásicos y modernos cabe destacar: el verde, amarillo, azul, oro, rojo, negro o blanco (Nicolalde, 1960).

5.5 El éxito de las tintas ferrogálicas: su permanencia

Al observar la gran abundancia de patrimonio documental con tintas ferrogálicas como elemento gráfico del mismo, es indiscutible el éxito que resultó ser dicha tinta. Su extenso empleo se basa en la facilidad de su elaboración, así como en su elevada permanencia sobre el papel. Esta última característica fue la singularidad más notoria de la tinta ferrogálica y la que consiguió que desplazara a la tinta de carbón.

La permanencia de la tinta ferrogálica se debe al elevado grado de penetración en el soporte gráfico al ser aplicada nada más ser fabricada, por lo que el complejo ferrogálico (galato férrico que es insoluble) se formaba en el interior de las fibras del papel, originando que la tinta fuera imposible de remover (Dorning, 2000) (Neevel, 2002).

Por tanto, si la tinta era utilizada en la fase soluble (complejo galato ferroso) actuaba como una solución, absorbiéndose en las fibras del papel y oxidarse posteriormente dentro de ellas. En cambio, si era empleada en la fase insoluble o férrica, ya se encontraba casi totalmente oxidada y, por tanto, se depositaba sobre la superficie del soporte sin llegar a penetrar en profundidad tanto en las fibras como en el primer caso, comportándose de manera similar a un pigmento en suspensión (James, 2000). No obstante, aun utilizándose de esta segunda forma, la tinta era insoluble y permanente. Según el grado de oxidación que la tinta presentaba, el grado de deterioro sería más o menos intenso con el paso del tiempo (Doming, 2000).

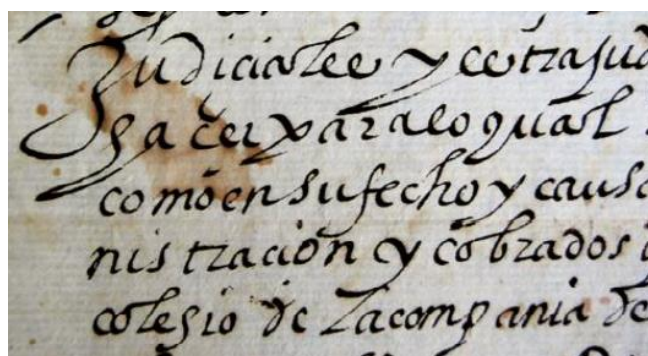


Figura 17. Escritos con tinta ferrogálica (Odor, 2013)

En definitiva, Dorning sugiere que la permanencia de la tinta en el manuscrito se ve reforzada o rebajada según el periodo de tiempo en el que se aplique la tinta. Es decir, la tinta tendrá una presencia más prominente en el documento cuando el proceso de oxidación se produzca en el propio soporte, mientras que si la oxidación del complejo de hierro tiene lugar antes de su aplicación en el papel la tinta mostrará una menor adherencia (García, 2019).

Ante eso, la lógica expone que si el proceso de oxidación se produce cuando la tinta ya se ha hundido en las fibras del soporte, el complejo de galato o tanato de hierro se depositará en las fibras del papel con mayor fuerza. Si, por el contrario, no se deja que la oxidación se ejecute en el soporte, se originará un precipitado de partículas de pigmento negro fino. Ese precipitado genera la disminución de las propiedades adherentes de la tinta, por lo que no arraigará tan profundamente en las fibras; asentándose más en la superficie de éstas.

Si a la insolubilidad de la tinta ferrogálica se le añade la facilidad que presentaban los ingredientes para conseguirse, así como la sencillez y rapidez en su fabricación, es incuestionable que se consiguió la 'tinta ideal'. Sin embargo, años más tarde se advirtió que producía un deterioro muy característico que ponía en riesgo aquella apreciada permanencia.

A este deterioro se le denomina como *corrosión de la tinta*, la cual se debe principalmente al exceso de iones metálicos en algunas tintas ferrogálicas, que actúan como catalizadores como del proceso de daño de las tintas y del papel que las contiene, tal como se expuso en el apartado de tintas metaloácidas (Odor, 2013).

A causa de ello, puede llegar a comprenderse el por qué en multitud de manuscritos se aprecia una amplia variedad de diferentes situaciones con respecto a las áreas con tintas. Es decir, en las zonas en las que se utilizó una tinta recién elaborada, y sin tiempo para permitir que tenga lugar la oxidación de ella, mostrarán un mayor daño a causa de la corrosión y la acidez de la tinta. Por otro lado, si la tinta es aplicada tras un periodo de tiempo, en el cual se permita dicha oxidación, el área presentará menor degradación a causa de la corrosión puesto que las fibras de celulosas no han sido atacadas y deterioradas.

6 ALTERACIONES Y EFECTOS

Como en todo bien cultural, en el deterioro de los documentos patrimoniales existirán numerosas causas que originarán un daño notorio en los mismos. Las causas del deterioro y destrucción del papel pueden provenir tanto de agentes que forman parte del propio soporte, como aquellos agentes externos que son ajenos a él. Los primeros tipos de deterioro se les conocen como factores congénitos o intrínsecos, mientras que al segundo grupo se les denominan factores externos, los cuales se originan cuando el material documental se encuentra en un entorno ambiental desfavorable para su conservación. Estos últimos pueden ser de naturaleza física, química o biológica; actuando tanto de forma conjunta como individual, de modo habitual u obedecer a circunstancias fortuitas y ocasionales, a veces de naturaleza catastrófica (incendios, guerras, inundaciones, etc.) (García, 2019).

En cualquier caso, su acción sobre el documento se ve fortalecida por la carencia de condicionamientos favorables, a los cuales la política preventiva y conservativa deberá eliminar en la medida de lo posible. No obstante, no es posible eliminar la propia materialidad perjudicial del objeto que se intenta proteger, ya que viene intrínseco con él, y sin la cual, por supuesto, las causas dejarían de surtir efecto.

De forma general, tal y como se ha mencionado al comienzo de este capítulo, las causas degradantes del papel pueden dividirse en dos grandes grupos: causas intrínsecas y causas extrínsecas, subdivididas a la vez según su naturaleza, física, química o biológica, y en base a su actuación habitual u ocasional.

Es indudable que resulta muy complejo abordar de manera independiente cada una de las causas mencionadas, ya que un factor intrínseco puede verse agravado por la acción coadyuvante de uno o varios factores externos y viceversa, puesto que este último tipo puede aumentar sus efectos degradantes en presencia de unas condiciones intrínsecas propicias a ellas. Y lo mismo puede decirse en lo referente a la naturaleza y a la actuación de determinadas causas.

El resultado que muestra de forma ineludible la existencia de una causa degradante son sus efectos reflejados en el papel. En la mayoría de las ocasiones, es posible caracterizar la causa o causas que lo produjeron por la simple observación del material documental. No obstante, en otras será preciso llevar a cabo un análisis mucho más riguroso y exhaustivo.

Así, de una forma general, podrá diferenciarse entre efectos generales o generalizados y efectos locales o limitados. El primer tipo se caracteriza por afectar a la totalidad del objeto o a casi todo de él, ya que se origina por factores que transforman estructuralmente su materia prima, por lo que serán considerados el tipo más grave. Por el contrario, los efectos locales o limitados se muestran en zonas específicas del documento, el cual no sufrirá una transformación estructural de forma generalizada como con el primer tipo (Crespo & Viñas, 1985).

6.1 Causas intrínsecas de alteración

Como se ha indicado en la introducción de este capítulo, las causas intrínsecas de alteración son aquellas relacionadas directamente con la propia naturaleza de las materias primas del papel y de los aditivos o componentes que recibe durante su transformación en pasta papelera. Asimismo, su existencia puede ser debida también a una serie de motivos eventuales como lo son las oxidaciones

de elementos metálicos presentes en el proceso de fabricación, aguas no depuradas, etc.

Se debe considerar también como causa intrínseca el factor oxidante de determinadas tintas, ya que se encuentra totalmente asociado al propio soporte sin posibilidad de separarlo, por lo que se verá irremediamente afectado, siendo tal caso el de las tintas ferrogálicas y metaloácidas.

Igualmente, en este grupo también se debe tener en cuenta el uso inapropiado de distintos aditamentos y formatos con la finalidad de preservar la pieza documental o bibliográfica, lo que desembocará en una incorrecta conservación (Bringas, 2017).

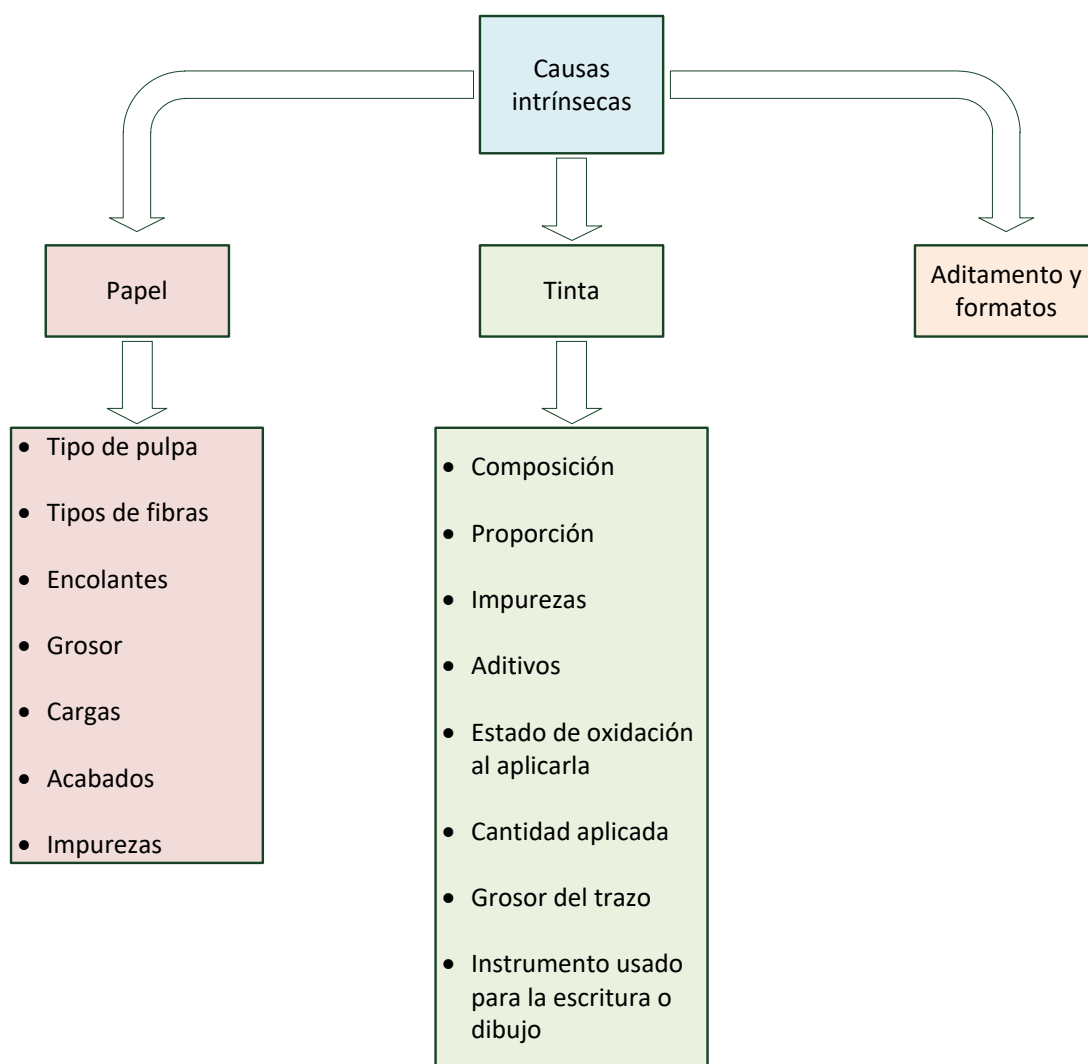


Figura 18. Esquema de las causas intrínsecas

6.1.1 Papel

6.1.1.1 Tipos de pulpa y fibras

Como ocurre con cualquier obra plasmada sobre un soporte de papel, la pulpa empleada para su fabricación y el tipo de fibras que presente serán determinantes en el desarrollo de deterioro. Por tanto, los materiales que conforman al papel pueden llegar a contribuir en el proceso de corrosión de la tinta y, aunque se tratara de la misma tinta ferrogálica, el daño ocasionado no será el mismo en diferentes tipos de papel.

Los papeles que han sido creados durante la etapa artesanal a partir de trapos no llevaban en sí causas degradantes tan notorias como otro tipo de papel, aun cuando, en razón a su propia naturaleza, puedan resultar receptivos a la acción destructora de agentes externos. Ciertos factores serán capaces de llegar a producir un efecto local o actuar, en varios casos, como elemento catalizador de procesos posteriores (Crespo & Viñas, 1985).

Asimismo, en aquellos papeles que presentaban en su composición lignina, hemicelulosa, colofonia y otras sustancias no celulósicas, ya sea por remoción inadecuada o por adición, están sujetos a la oxidación. Sin embargo, es importante destacar que aquel soporte gráfico que contenga lignina se degrada más lentamente que aquel papel que no la contiene, según un estudio realizado por Neevel (Neevel, 1995). No obstante, es sabido que la lignina provoca que el papel sea mucho más ácido que en su ausencia. La explicación planteada se basa en el hecho de que la lignina ralentiza la oxidación de la celulosa al interceptar los radicales hidroxilos y formar con ellos radicales más estables (Remazeilles, 2001).

6.1.1.2 Encolantes

En el caso de que durante la fabricación del soporte se han utilizados aditivos y aprestos o encolantes tienen una clara influencia en el deterioro del papel.

Los encolantes son adhesivos agregados durante la elaboración del papel y pueden ser de dos tipos: internos, para darle mayor cohesión a las fibras, y superficiales, los cuales dan cohesión, resistencia e impermeabilidad a la superficie del papel, haciéndolo apto para la escritura. Entre los más comunes se encuentran el alumbre, la colofonia, blanqueantes clorados, etc. (García, 2019).

El encolante empleado durante la producción del papel puede desembocar, a causa de agentes externos, en reacciones ácidas cuya consecuencia más frecuente es la ruptura de las cadenas moleculares de la celulosa (hidrólisis) (Brückle, 1992). Si además se le une la acidez aportada por la tinta ferrogálica, da lugar a que el deterioro por corrosión de la tinta sea un mucho mayor.

Todo se traduce en un aumento de la fragilidad del soporte, el cual padecerá una disminución en su resistencia mecánica, tanto en los ensayos de tracción, como en las pruebas de plegado y rasgado; añadiendo además la adquisición de un tono amarillento a causa de la oxidación de la lignina y la colofonia.

No obstante, se ha apreciado que otros encolantes pueden contribuir a la disminución o al bloque de la acción catalítica de los iones de hierro (Fe^{2+}). Esto mismo ocurre con la gelatina, ya que es capaz de formar complejos con el hierro libre, lo cual impide que migre y catalice la oxidación de la celulosa (Kolbe, 2004). Aquellos papeles con un encolante adecuado de gelatina pueden mostrar una resistencia más alta a la corrosión de la tinta (Kolar, 2005).

Asimismo, la cantidad de encolante superficial en los soportes de papel, también puede definir el nivel de penetración de la tinta y, por tanto, en la influencia del grado de deterioro que ésta puede ejecutar. Los documentos con un encolante superficial muy ligero posibilita que la tinta penetre más entre las fibras, por ello, será común que el daño por corrosión en estos casos sea más severo (Reissland, 2000).

6.1.1.3 Grosor

Según el grosor que presente el soporte, el nivel de penetración podrá ser mayor o menor en él, por lo que el grado de deterioro se verá influenciado por dicha característica. Por tanto, en el caso de que los papeles tengan un grosor fino manifestarán una susceptibilidad mayor ante la corrosión de la tinta, en especial al efecto conocido como trasminación (Kolar, 2006), siendo esta alteración explicada en el apartado 6.5.3.

6.1.1.4 Cargas

Aquellos papeles que tengan un alto contenido de cargas, en especial aquellas que funcionan como reserva alcalina (carbonatos), presentan la facultad de reducir el avance de la corrosión, debido a que pueden contrarrestar la acidez de la tinta que ha sido aplicada en los mismos (James, 2000). Por lo tanto, cuantas más cargas tenga el soporte gráfico, menor será el nivel de penetración de la tinta entre las fibras (Reissland, 2000).

Asimismo, la acidez del papel, como la de otros materiales, se mide en términos de pH, que expresa la concentración del ión hidrógeno. La acidez es emigrante, por lo que un papel neutro (pH=7) o con reserva alcalina situado, a largo plazo, junto a otro papel considerado ácido padecerá una disminución en su pH, es decir, se tomará a un papel ácido también. Asimismo, la acción de la acidez es insidiosa; por lo que en determinados casos sólo se evidenciará cuando el papel haya alcanzado una situación límite, la cual le hará quebradizo a una mínima presión (Guillemard, 1992).

La fragilidad mencionada del papel se puede atribuir, además de la disminución de la resistencia de la fibra por degradación de las cadenas de celulosa, al incremento de los enlaces interfibrilares, los cuales generan un aumento en la cristalización de las paredes de la fibra, tal y como se mencionó en el punto 4.3.1.1 sobre los papeles de trapos generados en la etapa artesanal manual (Koura & Krause, 1980).

6.1.1.5 Acabados

La realización de acabados sobre la superficie del soporte influye directamente sobre el comportamiento del mismo con el medio ambiente y con otros factores de deterioro, como pueden ser las tintas ferrogálicas. Por tanto, la ejecución de cualquier recubrimiento superficial o acabado que haga más lisa y compacta la superficie, dará lugar a que la tinta se deposite de una manera más superficial, limitando su absorción sobre las fibras y reduciendo levemente su acción corrosiva.

Un claro ejemplo de ello puede apreciarse en un proyecto realizado en la Escuela de Ingenieros, en el cual se fabricó papel de lino y se realizó un bruñido en una de las caras del soporte. Dicha acción dotó a la superficie de un pulido uniforme y le aportó un aspecto brillante, logrando eliminar o reducir las desigualdades, así como las asperezas que pudiera tener el soporte (García, 2019). Este bruñido confirió a los soportes una mayor protección a la hora de realizar diversos ensayos en el laboratorio, lo que confirma lo explicado en el párrafo anterior.

6.1.1.6 Impurezas

Durante el proceso de fabricación del papel, se incorporan diversas impurezas que, a largo plazo, pueden originar o acelerar ciertos mecanismos de deterioro, favoreciendo también la corrosión de la tinta. Un claro ejemplo de dichas impurezas son los residuos de resinas, además de partículas metálicas procedentes de la maquinaria para batir las fibras o del agua utilizada durante la manufacturación del soporte (Carter, 1989).

6.1.2 Tintas

Las tintas al ser el elemento gráfico del material documental, resultan inseparables del propio soporte y es el origen de la mayoría de las situaciones que provocan el deterioro del papel.

6.1.2.1 Composición e impurezas

Los materiales empleados para la fabricación de la tinta, así como su procedencia, su proceso de

obtención y, sobre todo, las impurezas que pueden presentar, influyen notoriamente en los mecanismos de deterioro de la tinta.

La corrosión de la tinta puede ser más fuerte cuando contenga otros metales de transición, además del hierro, siendo los más comunes el cobre, el zinc, manganeso, aluminio y plomo (Neevel, 2002). Sin embargo, dicha acción se podrá ver inhibida en el caso de que la tinta presente una mayor cantidad de aglutinante, lo que contrarrestará notablemente su acción dañina (Kolar, 2006).

6.1.2.2 Proporción de los componentes

El componente ácido, que actúa como mordiente para lograr una mayor fijación de la tinta en el soporte, reacciona con la sal que porta la propia tinta, cuyo elemento metálico actúa como catalizador de la oxidación de las fibras del papel; liberándose uno de los ácidos de mayores efectos corrosivos, el sulfúrico.

Es decir, aquellas tintas que se encuentran con un exceso de iones metálicos, en el caso de las tintas ferrogálicas se refiere a que están desbalanceadas hacia el hierro, se produce un exceso de sulfato ferroso; que origina iones libres de hierro (Fe^{2+}) y éstos catalizan la oxidación de la celulosa a la vez que favorecen la formación de más ácido sulfúrico, el cual promueve la hidrólisis ácida de la celulosa.

Como consecuencia, la tinta llegará a romper el papel, desprendiéndose líneas y páginas enteras del documento, asemejándose a un material quemado. Incluso hojas adyacentes carentes de tintas se ven contagiadas por esta acidez, sufriendo daños corrosivos (Bazemore, 2016); siendo ambos fenómenos explicados con más detalle en los apartados 6.5.3 y 6.5.5 de este capítulo.

6.1.2.3 Aditivos

La utilización de ciertos aditivos al fabricar la tinta también puede beneficiar la acción corrosiva de la misma con el paso del tiempo. Un claro ejemplo de ello es el uso de vinagre o vino en la tinta, lo que las vuelve más ácidas y les permite penetrar más profundamente entre las fibras del soporte.

6.1.2.4 Estado de oxidación de la tinta al momento de su aplicación

Tal y como se explicó en el capítulo anterior, el grado de oxidación de la tinta realiza un papel muy importante en cuanto a la intensidad de deterioro de los manuscritos.

Si la tinta ferrogálica es aplicada justo después de su preparación, es decir, se utiliza en estado ferroso, tendrá un mayor nivel de penetración en el papel que aquella tinta que se utiliza después de varios días reposando en el recipiente que la contiene (se encontrará ya oxidada) y, por tanto, su grado de impregnación sobre el soporte será inferior, quedándose depositada superficialmente sobre el papel (Dorning, 2000).

Por tanto, es lógico esperar que en los documentos donde la tinta haya penetrado más fuertemente en el soporte el deterioro de éste sea mayor, ya que la reacción de oxidación de la tinta ha tenido lugar en las propias fibras del papel.

Asimismo, al emplear tintas en estado férrico (ya oxidadas) parte del ácido sulfúrico y del exceso de sulfato ferroso se quede en la solución acuosa de la tinta y no en el soporte, como sería el caso de aquellas tintas aplicadas en estado ferroso (James, 2000).



Figura 19. *Acción oxidante de las tintas ferrogálicas sobre el papel* (Trestaller, 2020)

6.1.2.5 Cantidad de tinta aplicada, grosor del trazo e instrumento empleado para la escritura o dibujo

Tanto las características materiales de la tinta como del papel influyen en el deterioro conforme pase el tiempo. No obstante, la cantidad y forma en que la tinta fue aplicada sobre el soporte también tendrá una contribución directa con el daño en el documento patrimonial.

Así, una elevada cantidad de tinta en los trazos de escritura supondrá un deterioro por corrosión más alto (Reissland, 2000). Por ello, las zonas iniciales de los trazos (éstas presentarán más carga de tinta en la pluma o el pincel que al final del mismo) y de aquellas líneas más gruesas, acostumbran ser las más deterioradas.

Asimismo, la velocidad o presión ejercida a la hora de escribir determinaba la cantidad de tinta aplicada sobre el papel y, por tanto, repercutía en el deterioro de ambos elementos documentales.

El instrumento usado para la escritura también resultaba ser determinante para el nivel de penetración de la tinta en el manuscrito. Tal es el caso de las plumillas metálicas del siglo XIX, las cuales eran mucho más duras que las plumas de ave empleadas en los siglos previos (James, 2000).



Figura 20. *Ejemplo de mayor daño por corrosión en trazos gruesos* (Odor, 2013)

En definitiva, la acción de las tintas corrosivas tiene, en su mayor o menor medida, efectos generalizados en las hojas que componen un texto. Por ello, no es raro ver documentos y obras en bibliotecas y archivos que solamente conservan los márgenes no escritos de las hojas, debido a que se ha producido el desprendimiento del texto o convertido en una masa negra y carbonizada que se esparce en cenizas al menor movimiento de la hoja (Bazemore, 2016).

6.1.3 Aditamentos y formatos

Los añadidos o aditamentos (sellos, encuadernaciones ...) no son fáciles de separar del soporte, y a que dicha acción puede llegar a transgredir contra las características de originalidad y genuinidad del documento, generando en el papel deterioros locales como manchas, desgarros o roturas.

Asimismo, un formato de peculiaridades anormales puede llegar a dificultar su manejo e instalación, complicando una correcta conservación. Tal es el caso de mapas, planos o volúmenes de grandes dimensiones (Crespo & Viñas, 1985)

6.2 Causas extrínsecas de alteración

Las causas extrínsecas de alteración obedecen a cuatro grandes grupos: físico-mecánicas, ambientales, químicas y biológicas, así como ser motivadas por situaciones extraordinarias: incendios, inundaciones, terremotos, etc (Crespo & Viñas, 1985).

Sin embargo, es importante hacer incapié en que los efectos de una causa pueden ser, y de hecho lo son, los motivos de nuevos efectos en sucesiva e ilimitada vinculación. Es decir, las causas no actúan de forma independiente unas de otras y, cualquiera que sea su origen, determinarán en el documento un efecto de daño físico que se convertirá en una reducción en su resistencia mecánica, aumentando el riesgo a ser rasgado, doblado, tensado, ... (García, 2019). En definitiva, sea la causa que se reporte afectará a las dos características primordiales que determinan la estabilidad de un objeto material: su durabilidad y permanencia (Bringas, 2017).

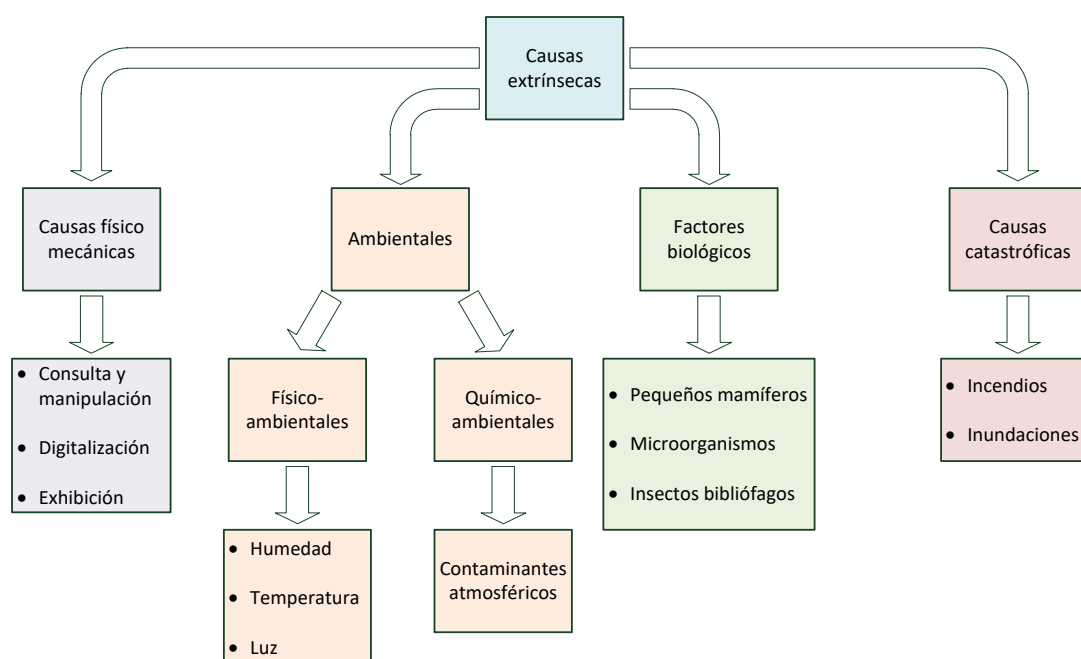


Figura 21. Esquema de las causas extrínsecas

6.2.1 Causas físico-mecánicas de alteración

Las causas físico-mecánicas tienen su origen en la propia manipulación del material documental, una deficiente instalación, así como por golpes, roces, ataduras fuertes de legajos, adornos metálicos de las encuadernaciones, etc. (García, 2019).

Como consecuencia puede originarse la rotura de las hojas, la aparición de manchas de grasa causadas por los propios dedos en un uso continuado, desprendimiento de los bordes de la hoja cortados por la contundencia de un atado o por la menor dimensión de su cubierta, rotura de una encuadernación por el continuo abrir y cerrar del documento... Todas ellas son causas ocasionales de localizados efectos (Calvo, 1997).



Figura 22. *Abrasión, fragmentos y dobleces* (Grañén, 2010)

En definitiva, el hombre es, en cierto modo, la causa directa o inmediata de todos los procesos degradantes de los documentos, a pesar de contribuir, por otro lado, a su conservación.

La manipulación de los textos documentales y bibliográficos lleva consigo de manera inevitable el deterioro de los mismos. Solamente las medidas plausibles para evitar dicha consulta directa y trasiego, permitirán la preservación definitiva de los documentos. Las técnicas reprográficas aplicadas correctamente ayudan de manera eficaz a esta conservación, pero sólo podrán abarcar un determinado porcentaje de toda la masa documental.

No obstante, el uso continuado de material documental con tintas ferro gálicas es un factor clave como influencia en su deterioro, sobre todo si la corrosión de la tinta se encuentra en un estado avanzado y papel ya se ha fragilizado, puesto que el riesgo de generar fracturas y/o pérdidas del material documental al manipularlo es muy alto, incluso si se realiza con las debidas precauciones (Reissland, 2000).

Por otro lado, si no se realiza un correcto asesoramiento acerca de las medidas básicas para la correcta manipulación de este tipo de manipulación, el usuario podría llegar a provocar maniobras que perjudiquen a los documentos, incluso sin percatarse de ello. Por ello, es preciso que el personal de las instituciones que resguardan material patrimonial establezca el procedimiento adecuado y

proporcionar al usuario la suficiente información para asegurar que la consulta se lleve a cabo de la manera más conveniente y segura.

Asimismo, efectuar una exhibición de los documentos de forma prolongada o permanente no es aconsejable, pues al ser materiales orgánicos son sensibles a la luz. Si los documentos con tintas ferrogálicas no se mantienen protegidos de la luz y demás factores ambientales el mayor tiempo posible, los mecanismos de deterioro correspondientes a dicha causa pueden acelerarlo enormemente.

Con respecto a la digitalización de los documentos con tintas ferrogálicas, su principal finalidad es la de limitar el uso de los originales para favorecer la conservación de los mismos. No obstante, si dicho procedimiento no se realiza de forma adecuada puede originar más daños físicos que los que se tratan de evitar. En el caso de no contar con planes integrales de preservación y digitalización en las instituciones que resguardan documentación patrimonial, se produce la necesidad de digitalizar más de una vez el mismo documento. El llevar a cabo la repetición de dicho proceso de forma continuada pone en riesgo directo a la documentación, así como el uso de un equipo no especializado o la falta de conocimiento del personal (Odor, 2013).

También se debe tener en cuenta algunas reparaciones caseras y sistemas empíricos de restauración o con base científica, que son declarados obsoletos y hasta nocivos, debido a las grandes alteraciones que pueden causar en el papel. En este grupo se pueden mencionar: reactivos para reavivar las tintas empalidecidas, laminación indiscriminada o el empleo de cintas adhesivas para reparar desgarros (Crespo & Viñas, 1985).

Además, es necesario indicar los daños importantes que pueden ocasionar a veces las marcas de propiedad impresas sobre los libros y documentos como garantía de identificación. La característica indeleble que se exige a estas tintas suele entrar en conflicto con la irrenunciable exigencia de la inocuidad (Crespo & Viñas, 1985).

6.2.2 Causas físico-ambientales y sus efectos

Están relacionadas con el entorno en el que se encuentran los documentos. Los principales factores ambientales básicos que afectan a la conservación y preservación del papel son la temperatura, la humedad y la luz.

6.2.2.1 Humedad y temperatura

A modo de recordatorio, puede definirse a la humedad como la cantidad de agua presente en la atmósfera. Generalmente, dicho factor es expresado en términos de relatividad. Es decir, la humedad relativa recoge la relación existente (en %) entre el agua que hay en un volumen determinado (humedad absoluta) y la que dicha unidad de volumen debería albergar para estar saturada (Guillemard, 1992).

La humedad se encuentra ligada de forma muy directa con la temperatura, puesto que cuanto más elevada sea ésta última, más alta será la cantidad de agua que un determinado volumen de aire necesita para su saturación y, en consecuencia, más reducida será su humedad relativa (Neevel, 1995). Por el contrario, las bajas temperaturas disminuyen el punto de saturación e incrementan, por lo tanto, la humedad relativa de la unidad atmosférica. Un descenso brusco de temperatura en una atmósfera determinada podrá acarrear una eliminación de agua de la misma, a causa de haber traspasado su punto de saturación. Como resultado, se originará una condensación de humedad y aparecerán gotas de agua (García, 2019).

Tal y como se mencionó en el punto 4.3.1, referente al papel fabricado a partir de trapos, el soporte requiere una determinada cantidad de humedad, para así lograr conservar la flexibilidad de las fibras de celulosa. Sin embargo, un exceso de dicha humedad puede llegar a producir la descomposición

del papel por hidrólisis, la formación de ácidos derivados de sales y otros productos empleados en la fabricación del papel o en la composición de las tintas y el reblandecimiento de los aprestos y colas de las encuadernaciones (García, 2019). Por tanto, suele ser típico recomendar un rango de humedad apropiado para los materiales celulósicos entorno al 30 y 50% de humedad relativa con una desviación entre $\pm 5\%$. No obstante, este porcentaje depende mucho del tipo de papel y de las condiciones en las que cada uno encuentre su equilibrio (Calvo, 1997).

Asimismo, una temperatura y humedad relativa elevada favorecerá la aparición y desarrollo de distintos tipos de microorganismos e insectos, causantes, a su vez, de la destrucción del papel (Reissland, 2000).

Por su parte, una atmósfera seca dará lugar al descenso de la humedad en el papel, disminuyendo así los puentes interfibrilares de la celulosa y, por consiguiente, haciendo que el documento se vuelva más frágil y friable. La sequedad y las altas temperaturas son factores acelerantes del envejecimiento natural del papel, así como el motivo de resquebrajamiento de los adhesivos que pierden dicha cualidad, decoloración en las tintas aplicadas, fisuras, debilitamiento y desecación (García, 2019). Por tanto, la temperatura adecuada para materiales celulósicos es de no más de 20°C . No obstante, la temperatura al no ser un fenómeno aislado y depender directamente de la humedad, podrá tener un valor diferente para cada situación presentada (Bringas, 2017).



Figura 23. *Pérdida del soporte en una de las esquinas a causa de la humedad* (Asensi, 2014) (García, 2019)

En definitiva, las oscilaciones bruscas y continuadas de ambos factores, prácticamente indisolubles, someten al papel a fuertes tensiones de contracción y dilatación, las cuales fracturan sus fibras estructurales.

6.2.2.2 Luz

La luz no supone un gran inconveniente para una correcta conservación del papel, siempre y cuando que su intensidad sea controlada y acorde al fondo documental. Además, es interesante destacar que la luz puede actuar como germicida sobre determinados tipos de microorganismos y es, también, nociva para algunos insectos. A pesar de ello, un exceso de la misma, y sobre todo la presencia de diversos tipos de radiaciones, es una importante causa de deterioro de documentos gráficos (García, 2019).

De entre todas las radiaciones lumínicas del espectro solar, radiaciones visibles e invisibles (infrarrojas y ultravioletas), las radiaciones ultravioletas son las que resultan más nocivas para el material a preservar; caracterizándose, además, por ser de poca longitud de onda. Como la velocidad

de la luz es constante y resultado de la combinación de la longitud de onda y de la frecuencia, es lógico afirmar que cuanto menor sea uno de esos dos factores mayor tendrá que ser el otro para poder contrarrestar dicho desbarajuste. Es decir, al disminuir la longitud de onda, mayor será la frecuencia (o energía de la luz) y viceversa (Guillemard, 1992).

Cuando dicha energía tropieza con un objeto, éste último absorbe parte de la misma, por lo que dar lugar a una serie de reacciones químicas; las cuales producen un cambio en la estructura molecular del mismo, siendo más destacable para el caso de compuestos orgánicos (fotólisis). La luz decolora las tintas, actúa sobre los ingredientes e impurezas del papel por reacciones fotomecánicas y de oxidación. Los productos resultantes de esta acción actúan sobre la celulosa debilitándola, debido a que se efectúa la rotura de sus cadenas moleculares (García, 2019). La luz tiene una acción fotosintética blanqueante sobre los papeles de buena calidad mientras que aquellos en los que la lignina forma parte de su composición, padecen un oscurecimiento y obtienen un tono amarillento a causa de la oxidación de dicho componente, liberando, a su vez, el olor característico del material documental (Naud, 1992).

La luz más perjudicial en base a la cuantía de radiaciones ultravioletas es la luz del sol, siguiéndole la fluorescente y, en último lugar, la incandescente.

Sin embargo, este factor se diferencia de la temperatura y la humedad relativa en que no incide de forma tan directa sobre los documentos de los archivos protegidos en legajos, cajas, carpetas o encuadernaciones y, en consecuencia, su acción no es tan peligrosa. No obstante, previo a su estado de preservación y conservación, este factor sí puede haber incidido sobre el material documental, encontrando en ellos todos los efectos dañinos mencionados anteriormente (Bringas, 2017).

6.2.3 Causas químico-ambientales y sus efectos

En la atmósfera están presente, además del agua que determina el nivel de humedad de la misma, una serie de elementos químicos comunes como son: el oxígeno, el nitrógeno, ozono, pequeñas cantidades de CO, etc. Este conjunto de elementos son los que provocan la hidrólisis, oxidación, fermentación e incluso la combustión de los materiales gráficos (García, 2019).

Asimismo, existen también una serie de impurezas o contaminantes en la atmósfera (polución) que pueden llegar a generar importantes daños en los documentos. Entre ellos pueden destacarse el NO₂, CO₂ y el SO₂, siendo este último un subproducto de la combustión industrial que, catalizado por pequeñas partículas metálicas, reacciona con el agua para formar ácido sulfúrico (H₂SO₄) (Crespo & Viñas, 1985).

Como se comentó previamente, el ácido sulfúrico puede ser considerado un agente intrínseco en el caso de que actúe en el papel tras proceder de las tintas aplicadas en él; aunque sus efectos como factor extrínseco pueden ser más locales. Es habitual hallar en las bibliotecas de libros y documentos que tienen un papel más oscurecido y friable en los cantos de las hojas y en las zonas no protegidas por la encuadernación u otros elementos, mientras que al encontrarse protegida la parte interior ésta no presenta alteración. Pueden tratarse incluso de papeles de trapos, sin presencia intrínseca y, por consiguiente, de sustancias productoras de dicho ácido que, en este caso actúa de fuera a dentro. En definitiva, los efectos que pueden causar son: debilitamiento, rigidez en papeles de pulpa mecánica y laxitud en papeles de pulpa de algodón (García, 2019).

Del mismo modo, en la atmósfera también están presentes aerosoles, pequeñas partículas sólidas (polvo) constituidas por diversos materiales, ya sean esporas de microorganismos, carbón, sal en las zonas marítimas, fragmentos metálicos... los cuales ocasionan efectos abrasivos, actúan como catalizadores y generan la contaminación biológica sobre el papel (Bringas, 2017).

6.2.4 Factores biológicos

Existe una amplia variedad de agentes biológicos responsables de las diversas alteraciones en la conservación de documentos patrimoniales. Entre dichos agentes destacan: la acción del hombre, los roedores, insectos, hongos y bacterias; siendo de especial consideración el primero de ellos.

6.2.4.1 Roedores

Estos mamíferos llevan a cabo una acción mecánica destructiva sobre el papel que roen. Pueden combatirse de manera eficaz por medio de múltiples productos raticidas existentes (García, 2019).

6.2.4.2 Microorganismos

En este grupo se encuentran comprendidos los hongos y bacterias, suponiendo su presencia una grave infección en los materiales documentales (Gallo, 1985).



Figura 24. Toma de muestras de microorganismos del Tratado de Matemáticas del Fondo Kati (IAPH, 2019)

Hongos

Son talofitas y suelen constituir un peldaño inferior en la escala vegetal. Según donde desarrollen su tiempo de vida pueden clasificarse como (Crespo & Viñas, 1985):

- **Saprotitas:** viven a expensas de la materia orgánica inerte.
- **Parásitos:** habitan en otros seres vivos.
- **Simbióticos:** resultan de convivir con sus huéspedes obteniendo ambos un beneficio recíproco.

Su reproducción se lleva a cabo mediante esporas, las cuales pueden ser transportadas por el aire y depositarse en un nuevo emplazamiento.



Figura 25. Documento dañado por hongos tras la acción del fuego y el agua (Sánchez & Priebe)

Entre las especies celulosíticas más frecuentes destacan los *aspergillus* y los *penicillium*.

Bacterias

Se encuentran también en una escala inferior, pero pertenecen al mundo animal. Son unicelulares y se multiplican rápidamente. Su forma esporulada les permite sobrevivir incluso en condiciones ambientales no óptimas (García, 2019).

Moteado o foxing

Es habitual encontrar en los almacenes de documentos históricos papales con múltiples manchas pequeñas de color marrón. Su origen es desconocido, aunque existen diversas opiniones que las atribuyen a la presencia de un microorganismo cuyos ácidos orgánicos reaccionan químicamente con las impurezas de origen metálico que pueda poseer el papel. Para su aparición se requerirán condiciones menos extremas de humedad y temperatura que en el caso de otros microorganismos (Crespo & Viñas, 1985).

La actividad de los microorganismos se traduce en un reblandecimiento del papel en aquellas regiones afectadas. Estas zonas, exhiben un aspecto algodonoso, llegando incluso a mostrar cierto estado de desintegración, puesto que desaparece el apresto superficial. A ello le acompaña, normalmente, diversas pigmentaciones, que son segregadas durante el metabolismo del microorganismo y que van desde el negro intenso al blanco, pasando por toda la gama de rojizos, violáceos y marrones. Incluso los hay que atacan a las tintas presentes en el documento, originando también su decoloración (García, 2019).

El efecto de la acción insidiosa de los microorganismos sobre el papel tiene tanto un carácter físico, en la mayoría de los casos, como un carácter químico. La celulosa se va debilitando a pesar de que el papel puede manipularse y plegarse sin que se produzca su rotura, algo que no sucede cuando es degradado por la acidez. Asimismo, debe remarcar que el grado de pigmentación no es ningún indicio de una mayor infección de hongos o bacterias. Existen varios tipos de microorganismos que no producen ninguna pigmentación, motivo por el cual su acción puede permanecer oculta a simple vista durante un largo periodo de tiempo hasta que los efectos sobre el papel sean prácticamente irreparables (García, 2019).

6.2.4.3 Insectos bibliófagos

En este término se engloban hasta unas cien variedades de insectos. Su presencia en las bibliotecas y archivos causa una infestación de los mismos. Pueden dividirse en dos grandes grupos (Crespo & Viñas, 1985):

- **Habitantes regulares:** se alimentan fundamentalmente del papel (celulosa, engrudo, cola, etc.) y se les conoce comúnmente como insectos celulósicos.
- **Habitantes ocasionales:** este grupo muestra una mayor apetencia por la madera (xilófagos), aunque pueden llegar a anidar y atacar al propio papel también.

Los insectos bibliófagos pueden variar de forma y apariencia a medida que crecen y se desarrollan, desde huevo hasta insecto adulto, pasando por ser una larva, pupa o ninfa. Así, en ese estado larvado es cuando mayor daño puede hacer ya que ejecutan perforaciones por toda la superficie del papel (García, 2019).

Asimismo, la presencia y desarrollo de todos ellos se ve beneficiada por ambientes cálidos y húmedos, oscuridad y una mala ventilación. Como principales daños se tiene la destrucción total del documento, perforaciones, roturas, manchas, debilitamiento y degradación (Guillemard, 1992).



Figura 26. Libro dañado por la acción de insectos bibliófagos (Ramírez, 2016)

Los insectos que atacan principalmente el material celulósico y proteico son: el pececillo de plata, los escarabajos, las cucarachas, la polilla, las termitas y el piojo de los libros (Crespo & Viñas, 1985).

Pececillo de plata

Pertenece al grupo de los *tisanuros*, familia lepidoptera, que se alimenta esencialmente de los engrudos y colas y de la gelatina fotográfica de los documentos. Suele poner sus huevos al abrigo de la luz, en hendiduras e irregularidades de las encuadernaciones (García, 2019).

Cucaracha

Ortópteros nocturnos de la familia de los blátidos que suelen alimentarse tanto de sustancias vegetales como animales (papel, pergamino, cuero). Acostumbran a producir excrementos negruzcos que originan manchas en el documento (García, 2019).

Gusanos de libros

Nombre genérico asignado para larvas de muchas especies bibliográficas de comportamiento muy similar. El insecto tiende a depositar los huevos de manera muy superficial, siendo la larva la que ejerza la acción perforadora y segregará una sustancia gomosa que pega las hojas entre sí. A este grupo pertenecen los anóbidos, insectos del orden de los coleópteros de múltiples especies. Suelen habitar en bibliotecas y archivos de las zonas templadas y húmedas. La larva puede vivir latente incluso años si las condiciones ambientales no le son favorables (García, 2019).

Piojos de libros

De minúsculo tamaño y conocidos con el nombre de psócidos, pertenecientes a la familia lipocélida. Suelen colocar sus huevos en los lomos de las encuadernaciones. Con una alimentación omnívora, tienden a mantenerse a base de engrudos, colas e incluso de hongos existentes en el propio papel. La única diferencia perceptible entre el insecto adulto y la larva es el color más claro presentado por ésta última (García, 2019).

Termitas

Son insectos xilófagos capaces de destruir la madera presente en las estructuras de los edificios (vigas, estanterías, etc.) y en los propios libros y documentos que dicho recinto resguarde. Son lucífugas y se encuentran muy cómodas en ambientes húmedos y cálidos, siendo una especie

extraordinariamente prolífica (García, 2019).



Figura 27. *Manuscrito Fondo Kati dañado por insectos (IAPH, 2018) (García, 2019)*

En definitiva, los insectos generan principalmente destrucciones más o menos graves, según la intensidad de la infestación. No obstante, este factor no presenta reacciones químicas en su actuación, por lo que no alteran la estructura interna del papel sin reducen la resistencia al plegado, tracción o rasgado. Por tanto, el material que no padece su acción mantendrá sus condiciones físicas iniciales. Los insectos generalmente atacan, con preferencia, a los papeles de buena calidad, como son los papeles de trapos, papeles neutros o alcalinos (García, 2019).

Es habitual encontrar en bibliotecas y archivos documentos “mordidos” por la acción oxidante de las tintas metaloácidas y, posteriormente, ser atacados por insectos en los márgenes de la zona no escrita exclusivamente. Además, tampoco suelen dañarse aquellos papeles creados con pasta mecánica. Por lo que de primera impresión podría clasificarse de buena o mala calidad un papel simplemente con observar si ha servido de alimento para los insectos. Sin embargo, esto no puede considerarse un mero consuelo, puesto que lo que realmente se demuestra es que nada está libre del riesgo de destrucción (García, 2019).

6.3 Causas catastróficas

Las causas catastróficas son las que repercuten en una mayor gravedad y devastación, pues suponen la destrucción masiva, en muchos casos, de miles de documentos. Entre las más destructoras destacan los incendios y las inundaciones (Crespo & Viñas, 1985).

Igualmente, a los daños producidos por estos agentes también se deben sumar los provocados por el desconcierto sobre cómo y qué hacer ante una situación así y, además, la uso de métodos y productos que, lejos de beneficiar, incrementan el daño. Por ello, existen países que buscan tener un plan de emergencia a punto ante cualquier situación de este tipo que tenga lugar de manera aleatoria (García, 2019).

6.3.1 Incendios

El fuego ha sido durante siglos uno de los principales y más temidos enemigos de los documentos guardados en los archivos y bibliotecas a causa de la abundancia de elementos combustibles que los conforman (García, 2019).

Las primeras instalaciones eléctricas contribuyeron de modo decisivo a este riesgo y no es extraño que durante años y de modo explícito en la legislación archivística de numerosos países, existiera la

prohibición formal de dicha instalación en los depósitos documentales (Crespo & Viñas, 1985).

Como se sabe, el fuego se produce por la conjunción de tres factores:

- Combustible o material que arde.
- Comburente: material que alimenta y permite la combustión.
- Punto de ignición o el grado de temperatura que permite la formación de la llama.

La inevitabilidad de los dos primeros factores dirige todos los esfuerzos por evitar, reducir o eliminar el tercero, ya que los documentos que con tanto fervor se intentan proteger actúan como material combustible y el oxígeno es un comburente de presencia ineludible e imprescindible en la atmósfera (García, 2019).

Los daños provoados por un fuego pueden englobar desde la completa destrucción del material hasta la inutilización más o menos parcial. Además, se deben sumar los daños ocasionados por el elemento extintor, que en incendios de gran magnitud no puede ser otro que el agua, cuyos efectos se comentarán a continuación (García, 2019).



Figura 28. Documento quemado (Orión, 2016)

6.3.2 Inundaciones

Las grandes inundaciones representan una gran pérdida del patrimonio. Sumándose con daños similares, pero de menor envergadura, las roturas de tuberías, atascos de una vertiente de lluvia o las goteras (García, 2019).

Los efectos de esta causa son esencialmente: el corrimiento de las tintas, el apelmazamiento de las hojas, la rotura de las mismas, la pérdida de las sustancias encolantes, así como el desteñido de las pieles de las encuadernaciones, la rotura de éstas, la aparición de manchas de barro y de cualquier producto que el agua lleve en suspensión, etc. (Crespo & Viñas, 1985).

A ello hay que unir que si la operación de salvamento no se realiza de la forma pertinente, o el número de documentos desborda las posibilidades de tratamiento inmediato, la aparición de hongos será inevitable, puesto que se ve favorecida por el ambiente húmedo y por la elevación de la temperatura, ya que esta acción es el medio con el que frecuentemente se pretende acelerar el proceso de secado. Este riesgo biológico se tratará de evitar mediante la congelación del material húmedo y posterior eliminación del hielo (liofilización) (García, 2019).

6.4 Principales mecanismos de deterioro en la corrosión de la tinta ferrogálica

Dado que en la fabricación del papel no se producen modificaciones químicas de la celulosa, el estudio de la degradación de los soportes gráficos se reduce, generalmente, al estudio de la degradación de dicho componente principal. Como se mencionó en el apartado 4 de este proyecto (*el papel como soporte*), desde el punto de vista químico, la celulosa es un compuesto polimérico conformado por varios miles de unidades de β -D-glucopiranosas, unidas por enlaces glucosídicos en los carbonos C1 y C4 y que tienen tres grupos hidroxilo en C2, C3 y C6. La celulosa es una de las sustancias más comunes en la naturaleza, estando en la pared de las células vegetales, constituyendo casi el 50% de la madera y un 94% en el algodón.

Las cadenas de celulosa se asocian entre sí a través de puentes de hidrógeno y fuerzas Van der Waals, dando lugar a microfibrillas que, a su vez, se agrupan en fibras; las cuales constituyen, finalmente, la materia prima del papel. Dichas microfibrillas presentan estructuras particulares, compuestas esencialmente por regiones donde las moléculas de celulosa, según su orientación, se encontrarán cristalizadas y otras regiones donde serán amorfas. Las zonas cristalizadas tienen una gran rigidez, son insolubles e impermeables al agua y las cadenas son paralelas y unidas fuertemente entre sí. Las áreas amorfas, por otro lado, son cadenas desorientadas y con una fuerza intermolecular considerablemente menor, son más flexibles y permiten la penetración del agua o de otros contaminantes (iones metálicos, microorganismos, etc.); por lo que serán más susceptibles a diferentes ataques.

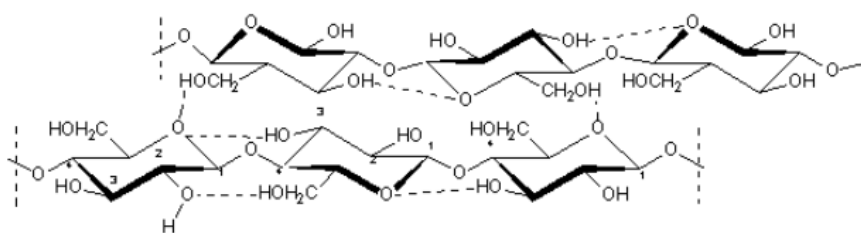


Figura 29. Estructura supramolecular de la celulosa (Leirar, 2007)

Los mecanismos de degradación química de la celulosa propuestos en la literatura actual se pueden agrupar en tres familias principales (Remazeilles, 2001) (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005):

- Reacciones de hidrólisis: estas reacciones pueden tener lugar en un medio ácido o alcalino e inducir cortes en la cadena celulósica.
- Reacciones de oxidación catalizadas por iones metálicos:
 - Según mecanismos radicales: estas reacciones pueden provocar la escisión de los enlaces β -glucosídicos por ataque a los carbonos C1 y C4.
 - Según mecanismos iónicos: ataque directo de la celulosa por cationes metálicos en el oxígeno semiacetal de la unidad de anhidroglucosa es oxígeno β -glucosídico. Estas reacciones causan también cortes de cadenas.
- Migración de los componentes de la tinta ante ciertas condiciones ambientales.

Todos los factores responsables de tales mecanismos no actúan de forma aislada, sino que pueden hacerlo de forma simultánea y sucesiva; ya que los productos de degradación de uno favorecen el inicio de otro y viceversa. Esto es lo que señalan varios autores al sugerir un acoplamiento en el caso de la oxidación/hidrólisis (Shahani, 1986) (Williams, 1977). En efecto, parecería que, después de la oxidación y formación de grupos carbonilo en las unidades de anhidroglucosa, la reacción de hidrólisis alcalina es posible y puede conducir a la rotura de cadenas de celulosa (Bicchieri & Pepa,

1996).

Los iones metálicos presentes en la tinta y que probablemente estén involucrados en estas reacciones son principalmente iones Fe^{2+} , pero también participan los iones Cu^+ , los cuales se pueden encontrar en proporciones variables en el vitriolo empleado en la elaboración de la tinta ferrogálica. Según algunos trabajos, el cobre puede llegar a ser un catalizador más eficiente que el hierro en un ambiente débilmente ácido (Shahani, 1986).

A continuación, se describirán los tres mecanismos de deterioro que padecen el patrimonio documental, particularizando en cada uno los daños ocasionados especialmente por las tintas ferrogálicas con un exceso de sulfato ferroso sobre los soportes de papel.

6.4.1 Mecanismo de hidrólisis ácida de la celulosa

La presencia de ácidos en el papel y la absorción de agua en las regiones amorfas, catalizan la hidrólisis de la cadena de celulosa, ocasionando la ruptura del enlace glucosídico 1-4 β entre las unidades de glucosa que la conforman. Dicha separación provoca la despolimerización de la molécula, dando lugar a la generación de β -celobiosa (monómero de la celulosa) y finalmente glucosa cuando se completa la hidrólisis (Remazeilles, 2001).

Como el papel es hidrofílico, la hidrólisis suele darse con mayor facilidad en las regiones amorfas del polímero. Ello se debe a que las moléculas de agua adheridas a dichas zonas (agua intermolecular), así como la menor orientación de las cadenas celulósicas, favorecen la difusión del ácido; lo que desemboca en la ruptura de las cadenas y una reducción en la resistencia del papel (Carter, 1989). A continuación, en la Figura 30, puede apreciarse el mecanismo de hidrólisis que tiene lugar en las fibras de celulosa:

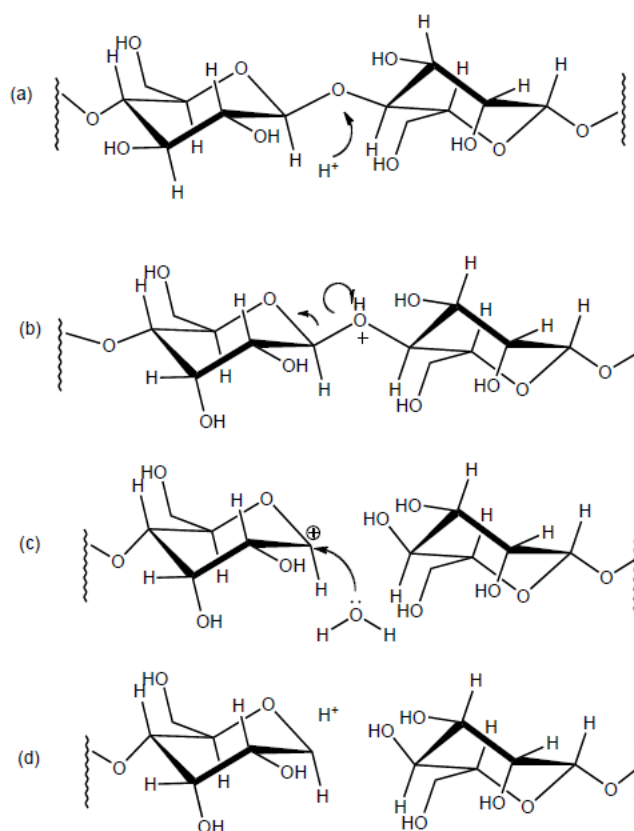
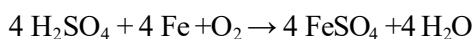
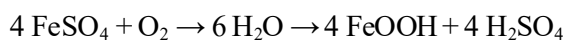


Figura 30. Esquema de la hidrólisis ácida de la celulosa (Odor, 2013)

La acidez del papel puede tener distintos orígenes:

- **Alumbre:** utilizado para el encolado de colofonia (resina de pino). Este sulfato de aluminio y potasio tenía la función de precipitar la colofonia sobre las fibras del papel. Pero al ser una sal ácida y conjuntarse con la humedad del aire, se disocia y se convierte en ácido sulfúrico, el cual es particularmente corrosivo.
- **Residuos derivados del proceso de blanqueo con cloro:** al combinarse con agua puede formar ácido clorhídrico.
- **Contaminantes atmosféricos en el ambiente:** producen ácidos al reaccionar con el agua.
- **Tintas ferrogálicas:** están compuestas por un ácido débil (ácido gálico), así como de un ácido fuerte (el sulfúrico), siendo este último generado durante la formación del complejo colorido (ej: $\text{FeSO}_4 + \text{tanino} \rightarrow \text{complejo ferrogálico} + \text{H}_2\text{SO}_4$) (Sistach, 1990). Asimismo, también se agregaban una gran variedad de aditivos ácidos durante su fabricación. El pH de la tinta ferrogálica fluida suele estar entre 1 y 3,1 (Neevel, 2002) y, en el caso de que las tintas se encuentren con un exceso de sulfato ferroso, la formación de ácido sulfúrico se ve incrementada y es constante en condiciones de humedad relativa elevada, siendo una reacción cíclica (Yarto, 2000):



Además, el ácido sulfúrico formado, mantiene al hierro en forma iónica (Fe^{2+}), el cual se encarga de catalizar la reacción anterior. Es conveniente evidenciar que la degradación de la celulosa por acción del ácido es más rápida que la que inducen los iones metálicos por oxidación (Kolar, 2006), así como que el ácido migrará más fácilmente que el hierro desde la zona de los trazos de la tinta hacia el resto del papel (Banik, 1997).

6.4.2 Oxidación de la celulosa en función de mecanismos radicales

El fenómeno de la oxidación resulta ser más complejo que la hidrólisis. De hecho, la molécula de celulosa presenta varias regiones propicias para dicho mecanismo, por lo que resultará mucho más favorable. Además, los iones metálicos presentes en el soporte gráfico fomentan de manera intensa la oxidación del mismo. Por ello, las reacciones implicadas deben tener en cuenta no solo los distintos factores de degradación, internos y externos del papel, sino también la posible interrelación entre los diferentes mecanismos, ya que la hidrólisis da pie a la oxidación y ésta, a su vez, fomenta otras reacciones secundarias.

6.4.2.1 Oxidación de los grupos hidroxilos

La celulosa presenta grupos hidroxilo en los carbonos C2, C3 y C6, siendo fácilmente oxidables (ver Figura 31). Asimismo, según el carbono de la unidad de glucosa que contiene el grupo afectado, pueden originarse varios tipos de oxidación.

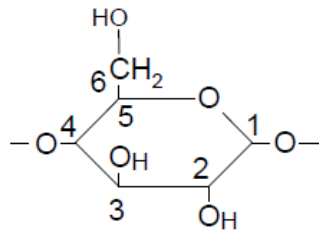


Figura 31. *Molécula de glucosa* (Remazeilles, 2001)

La degradación de la celulosa a causa del ataque en grupos hidroxilos, provoca la rotura en los enlaces intermoleculares entre las cadenas de celulosa, es decir, los puentes de hidrógeno. Su reactividad es inversamente proporcional a la importancia de su implicación en estos enlaces. Por lo que, de esta forma, el grupo $-OH$ en el carbono C3 es un poco menos reactivo que los de C2 y C6, debido a que todos sus hidrógenos están involucrados, mientras que en los otros dos no ocurre dicha implicación (Remazeilles, 2001). En la Figura 32 y Figura 33, puede apreciarse los diferentes productos de oxidación de la celulosa en función del grupo hidroxilo afectado:

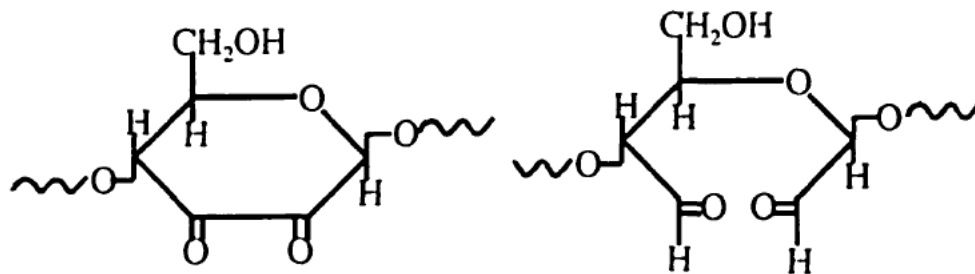


Figura 32. *Oxidación grupos C2 y C3* (Sistach, 1998)

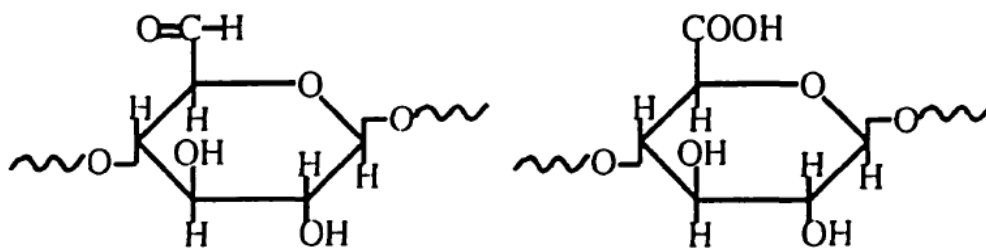


Figura 33. *Oxidación grupo C6* (Sistach, 1998)

Si bien estas reacciones no conducen directamente a la rotura de la cadena de celulosa, sí que provocan un debilitamiento significativo en la misma. De hecho, la oxidación de los grupos $-OH$ destruye los puentes de hidrógeno entre las fibrillas, lo que da lugar a una reducción de la cristalinidad, estabilidad y naturaleza higroscópica de las fibras; facultando así la inserción de los contaminantes (Remazeilles, 2001).

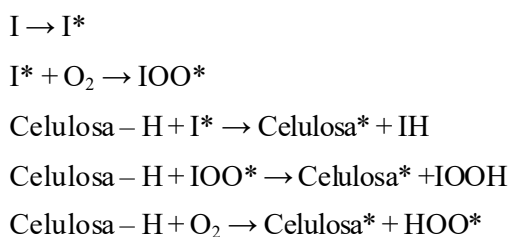
6.4.2.2 Reacción de oxidación acompañada de mecanismos radicales

La pérdida de las propiedades mecánicas del papel normalmente se atribuye a cortes en la cadena celulósica. Por lo tanto, entre todos los posibles mecanismos de oxidación plausibles, los que

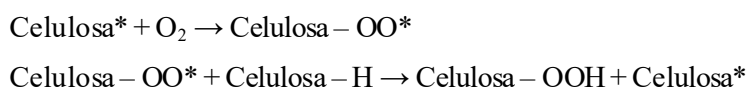
inducen a la pérdida de dichas propiedades mecánicas son las que implican los carbonos C1 y C4. Esos mecanismos no pueden ser despreciables, debido a que la absorción de una cantidad de oxígeno, incluso a una cantidad muy baja, es suficiente para disminuir notoriamente el grado de polimerización de la cadena de celulosa. En consecuencia, se producirá una pérdida en las buenas propiedades mecánicas del soporte gráfico, así como de la coloración del mismo (Shahani, 1986).

Entwistle y su equipo, fueron los primeros en ajustar un mecanismo general de radicales libres para la oxidación de la celulosa (Entwistle, 1949). Posteriormente, Shafizadeh y Bradbury propusieron un esquema de reacciones en el que un grupo –OOH reemplaza al hidrógeno del carbono C1 de la unidad de glucosa, formando hidroperóxido de celulosa y facilitando la ruptura de los enlaces glucosídicos (Shafizadeh & Bradbury, 1979):

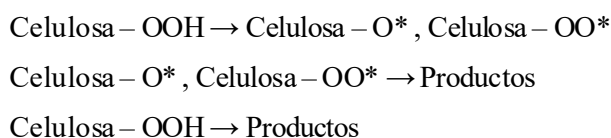
Iniciación



Propagación



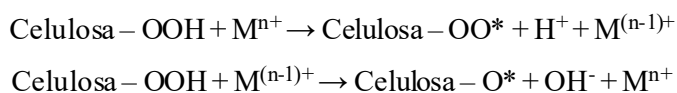
Formación de productos



6.4.2.3 Influencia de los iones metálicos en el proceso de oxidación

La oxidación de la celulosa se ve favorecida especialmente por la presencia de cationes metálicos (como el hierro o el cobre, la luz, el calor, la humedad y gases contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂) y el dióxido de nitrógeno (NO₂)) (Carter, 1996).

Según Shafizadeh y Bradbury, los iones metálicos atacan los hidroperóxidos de la celulosa para regenerar los radicales libres y reiniciar la degradación (Shafizadeh & Bradbury, 1979):



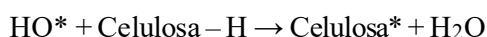
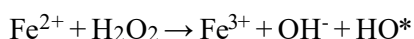
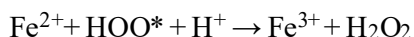
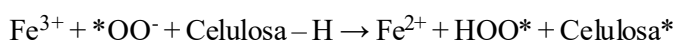
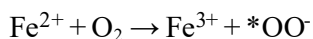
No obstante, Neevel va más allá respecto al papel de los iones de hierro Fe²⁺, basándose en gran medida en el mecanismo de reacción propuesto por Shafizadeh y Bradbury. De acuerdo con él, la presencia de iones Fe²⁺ en el papel se debe a sustancias reductoras como el ácido oxálico (H₂C₂O₄). Estos iones de hierro actúan como iniciadores de la formación de radicales libres: por un lado, sobre el oxígeno del aire y, por otro, por la reacción de Fenton (pasos 2 y 3 del proceso que se expone a continuación). El hierro posteriormente catalizaría la producción de peróxido de hidrógeno, con el que reaccionaría para dar radicales hidroxilos extremadamente reactivos (Neevel, 1995).

Es decir, los iones de hierro Fe²⁺, procedentes del exceso de sulfato ferroso de las tintas desbalanceadas al hierro, catalizan la oxidación de la celulosa. Ello promueve a la formación de partículas más reactivas, esto es, radicales libres. Sin embargo, a pesar de que una parte de los iones

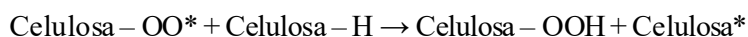
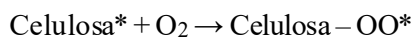
de hierro Fe^{2+} se oxidan a Fe^{3+} , siendo este último catalíticamente inactivo, el papel y las tintas ferrogálicas albergan y/o producen sustancias reductoras, como es el caso de algunos productos de la hidrólisis ácida de la celulosa, las cuales reaccionan con el hierro Fe^{3+} y vuelven a reducirlo a Fe^{2+} , provocando que los mecanismos de deterioro sean cíclicos (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

A continuación se expone cómo los iones libres de hierro catalizan la oxidación de la celulosa (Remazeilles, 2001):

Iniciación



Propagación



Formación de productos



Como puede apreciarse en la etapa de iniciación, en las dos primeras reacciones el oxígeno reacciona con el hierro y se forman radicales orgánicos. Posteriormente, en la tercera ecuación, los iones Fe^{2+} reaccionan con dichos radicales orgánicos, formando peróxido de hidrógeno. Y, finalmente, en la cuarta reacción del mecanismo de iniciación se observa cómo el peróxido de hidrógeno, coordinado con otro ion de hierro Fe^{2+} se separa en un ion hidróxido (HO^*) y en un radical hidroxilo (OH^-). Dicha reacción se conoce como la reacción de Fenton.

Los radicales hidroxilos son muy reactivos y móviles, especialmente cuando hay presencia de agua. A causa de esta reactividad, se les consideran los principales responsables de la oxidación de la celulosa, ya que tienen la facilidad de extraer átomos de hidrógeno de la misma y formar radicales orgánicos con ellos. Durante la oxidación de la celulosa, se forman grupos carbonilos (aldehídos y cetonas) y grupos carboxilos a partir de los grupos hidroxilo (Carter, 1996). Los dobles enlaces de los grupos formados, son los responsables de reducir la capacidad de la molécula de celulosa para generar puentes de hidrógeno, además de ser los causantes del amarillamiento del papel.

En general, los radicales hidroxilos formados por la reacción Fenton, atacan a la celulosa de una forma no selectiva para dar lugar a los siguientes productos (Remazeilles, 2001):

- Ataque en C1: se forma ácido glucónico tras la rotura de la cadena celulósica.
- Ataque en C4: se producen fragmentos glucosídicos tras la rotura de la cadena.
- Ataque en C2 y C3: cetonas.
- Ataque en C6: se origina un grupo aldehído y luego ácido glucurónico.

Asimismo, es importante destacar que no solo los iones de hierro catalizan la oxidación de la celulosa durante la corrosión de la tinta. Existen otros metales de transición presentes como impurezas en la tinta o como ingrediente adicional, en ocasiones hasta en mayor proporción que el hierro, que pueden contribuir a este mecanismo de deterioro. Como se ha comentado con anterioridad, era muy común que las tintas ferrogálicas presentaran un alto contenido en cobre, el

cual tiene una acción catalítica mayor y puede generar daños incluso más severos que el hierro. El plomo, el manganeso, el zinc y el aluminio son otros metales que generalmente pueden estar presentes en las tintas como impurezas, pudiendo llegar a influir en su comportamiento con el paso del tiempo (Kolar, 2005). Neevel menciona que el cobre y el manganeso son los principales catalizadores de la oxidación de la celulosa, mientras que en el caso del aluminio (como sulfato) y el hierro pueden contribuir con la acidez, al formar sales hidratadas ácidas (Neevel, 2002).

Como en la mayoría de las reacciones con radicales, las reacciones mostradas anteriormente se activan con la incidencia de la luz. Los iones metálicos son muy fotosensibles y longitudes de onda superiores a 330-340 nm son suficientemente energéticas para iniciar un proceso fotoquímico radical por deshidroxilación, deshidrogenación o formación de radicales alcoxi. Los iones de metales pesados se pueden clasificar en dos grupos según su fotosensibilidad (Banik, 2010):

- a) $Zn^{2+} < Cr^{3+} < Co^{2+} < Ni^{2+}$
- b) $\ll Ce^{4+} < Cu^{2+} < Ag^{2+} < Pb^{2+} \ll Fe^{3+}$

Según dicha clasificación, el hierro sería el ion más fotosensible de todos ellos.

6.4.3 Oxidación de la celulosa en función de mecanismos iónicos

Otros autores, como es el caso de Bicchieri y Pepa, sugieren la existencia de otro mecanismo no radical durante el cual los iones metálicos atacarían al oxígeno semiacetal en la unidad anhidroglucosa o al oxígeno-β-glucosídico. Este mecanismo de Lewis va acompañado de la formación de enlaces donador-aceptor de electrones y conduce a la ruptura de las cadenas de celulosa. Los iones metálicos actúan de nuevo como catalizadores (Bicchieri & Pepa, 1996).

Según sus resultados obtenidos, existe una notoria diferencia entre el hierro y el cobre. Los iones de hierro actuarían como catalizadores para la escisión del enlace 1,4-β-glucosídico, mientras que los iones de cobre catalizarían el ataque al oxígeno semiacetal según el mecanismo de Lewis. No obstante, los grados de oxidación de los iones metálicos no se especifican (Remazeilles, 2001).

El modelo propuesto es diferente al de Neevel, ya que no implica la formación del hidroperóxido de celulosa, los cationes metálicos actúan directamente sobre los átomos de oxígeno de la celulosa.

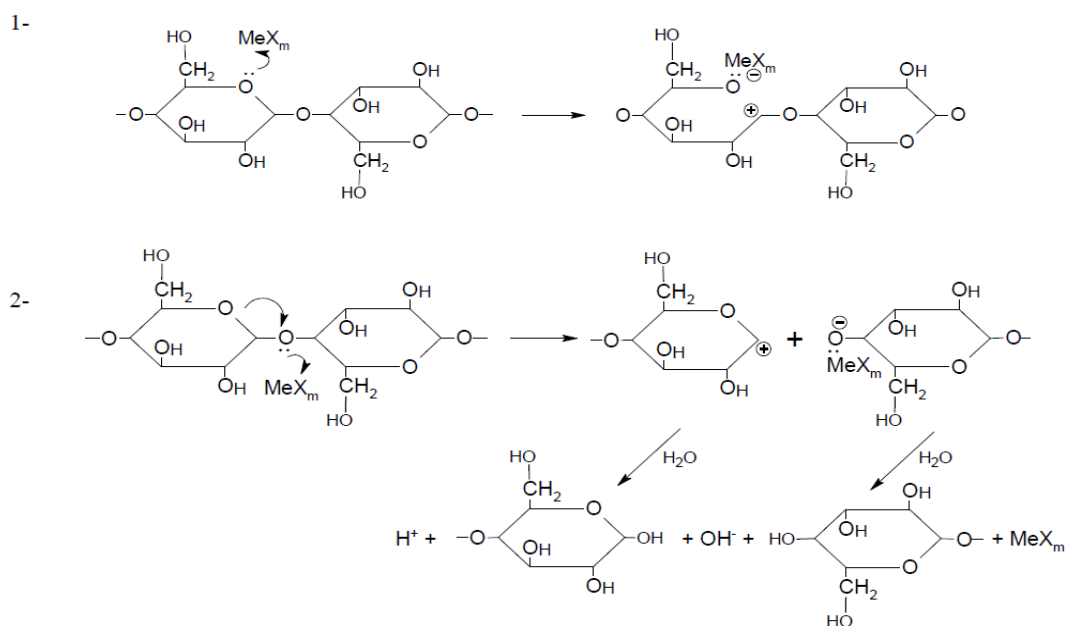


Figura 34. Degradación de la celulosa por iones metálicos en función del mecanismo de Lewis (Bicchieri & Pepa, 1996)

6.4.4 Migración de los componentes inorgánicos de la tinta

Los mecanismos de hidrólisis y oxidación de la celulosa son catalizados respectivamente por el ácido sulfúrico e iones de hierro (Fe^{2+}), ambos aportados por la tinta ferrogálica desbalanceada hacia el hierro y tienen lugar, principalmente, en las áreas del soporte gráfico que cuentan con trazos de tinta, los cuales padecerán efectos de deterioro muy puntuales. No obstante, a causa de su afinidad con el agua y la celulosa del papel, los iones libres de hierro (Fe^{2+}) y, en especial el ácido, pueden trasladarse desde los trazos de tinta hacia el resto del documento en condiciones de humedad relativa elevada o en contacto directo con el agua. Las continuas oscilaciones de humedad relativa también fomentan la migración de otros componentes de la tinta, específicamente cuando éstas ocurren en lapsos cortos de tiempo (Reissland, 2000).

El éxodo del hierro y del ácido no es posible apreciarlo a simple vista y sus efectos no pueden apreciarse de una forma inmediata. Sin embargo, dependiendo de las condiciones ambientales y de las características de la tinta y el papel empleadas, pueden evidenciar la extensión de la corrosión de la tinta a todo el soporte a medio o a largo plazo, suscitando, en ocasiones, grandes pérdidas de material e información.

El ácido sulfúrico, así como cualquier otro ácido aportado por la tinta, por su fácil difusión en las zonas amorfas de la celulosa es capaz de migrar de los trazos realizados hacia la periferia de éstos, además de hacia el reverso del soporte e, incluso, hacia hojas contiguas, originando lo que se conoce como *transmisión*. Existen varias investigaciones que han verificado que el ácido es el que realiza la migración con más facilidad que el hierro (Fe^{2+}), el cual tiende a permanecer en los trazos y en las áreas circundantes (Banik, 1997). No obstante, a niveles muy elevados de humedad relativa (más de un 90%) o en contacto directo con agua, el hierro se convierte en el más móvil y puede llegar a dispersarse y catalizar la oxidación en todo el documento (Daniels, 2000). Las incasantes fluctuaciones de humedad, provocan el aumento de la difusión de los iones de hierro hacia los alrededores de los trazos o hacia el reverso del propio soporte (Neevel, 1995).

A causa de la alta migración que muestran los componentes inorgánicos de la tinta ferrogálica ante la presencia de agua, la humedad relativa resulta ser el principal factor a considerar para prevenir el deterioro por corrosión de la tinta. Dicha afirmación resulta evidente cuando se realiza la comparación entre documentos localizados en zonas geográficas. En regiones tropicales, a pesar de que el documento tiene tintas muy inestables, el deterioro suele avanzar de forma más lenta y es muy puntual sobre los trazos. En el caso de zonas con climas húmedos era muy común encontrar documentos en los que todo el soporte gráfico presentaba un avanzado deterioro por corrosión.

Ciertos investigadores, como Reissland y Ligterink, han realizado pruebas de envejecimiento acelerado en las que se muestran abiertamente la acción de altos niveles de humedad relativa en la migración de los componentes de la tinta y, por ello, en la extensión de la corrosión de la tinta a todo el soporte (Reissland, Ligterink, & Phan-Tan-Lu, 2010).

A modo de resumen, en la Figura 35 se muestra un diagrama en el que se expone los mecanismos de deterioro de documentos con tintas ferrogálicas:

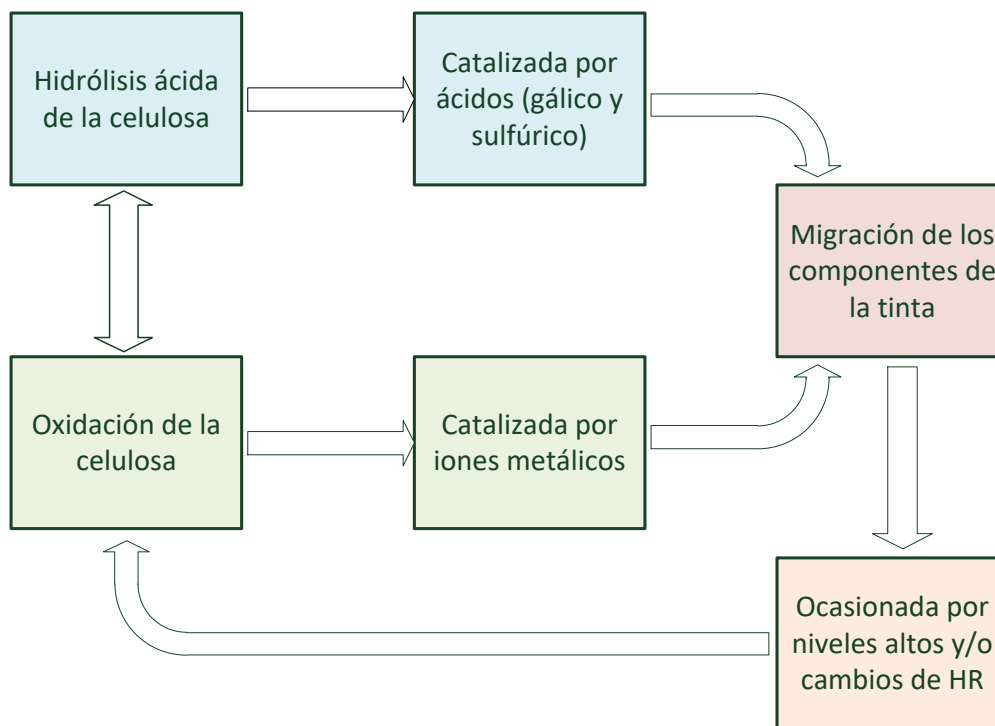


Figura 35. *Mecanismos de deterioro que intervienen en la corrosión de la tinta*

6.5 Principales efectos de la corrosión de la tinta

Uno de los principales motivos de degradación de los manuscritos es la presencia de las tintas ferrogálicas como material gráfico del documento. Y ello se debe, principalmente, al proceso de corrosión que llegan a sufrir estas tintas. Dicho fenómeno es causado por la composición de las propias tintas, ya que la presencia de iones de hierro e iones de otros metales de transición como pueden ser el cobre o el zinc provocan una inestabilidad química remarcable. Asimismo, es importante tener presente la existencia de otros factores de degradación que actúan sobre el documento, como puede ser el envejecimiento natural del soporte, así como las reacciones químicas que tienen lugar entre las tintas con las fibras del soporte. Todas esas reacciones mostrarán una mayor probabilidad de ocurrencia en el caso de que tanto las condiciones ambientales o de almacenamiento no sean las más adecuadas para la conservación y preservación de la obra (Banik, 1998).

El primer indicativo observable para saber que un documento se encuentra afectado por el proceso de corrosión de las tintas que posee en él es la decoloración marrón del su soporte, tanto en las áreas contiguas a la tinta como debajo de ésta, alcanzando al reverso, e incluso a los papeles colindantes a la obra. Después de este primer indicio, puede llegar a apreciarse un cambio del color y opacidad en la propia zona en la que la tinta se encuentre aplicada y, por último, la degradación del soporte, lo cual puede llegar a suponer el agrietamiento de las áreas entintadas, pérdidas del soporte y, en consecuencia, el extravío de la información (Banik, 1998) (Reissland, 2010). Este último síntoma se debe a que el área que rodea la tinta se caracteriza por ser hidrófila, lo que se traduce en una mayor absorción de agua, entretanto que las zonas que sufren un grado de degradación son hidrófobas, lo que genera tensiones entre las distintas áreas en presencia de humedad. Todo ello ocasiona la pérdida de las propiedades mecánicas del documento y provoca considerables daños en el soporte (Groot, 1999).

Asimismo, una elevada humedad, el agua y los componentes agresivos de la tinta pueden ocasionar la aparición de halos marrones descoloridos alrededor de los trazados de tinta, la decoloración e

incluso la desaparición completa de las tintas. Más de un 70% de humedad llega a ser el motivo de la migración de los componentes solubles de la tinta. Esto unido a una incorrecta manipulación provoca la aparición de grietas en las zonas afectadas por la corrosión de la tinta (Reissland, 2010). Además de ello, el ancho del trazo, y por tanto la cantidad de tinta aportada al soporte, el pH de la tinta y del soporte, así como el gramaje de este último, son también factores importantes a tener en cuenta debido a que son posibles desencadenantes del proceso de corrosión (Kolar, 2006).

En definitiva, la intensidad y velocidad de los mecanismos de deterioro de la corrosión de la tinta dependerá de varios factores del documento y del ambiente en el que se encuentre. Debe recalcar se, que las consecuencias de deterioro no serán visibles de inmediato, por lo que los efectos provocados por las reacciones de hidrólisis y oxidación pueden verse a simple vista mucho tiempo después de que esos fenómenos hayan comenzado (Reissland, 2000).

En los siguientes subapartados se recogen los principales efectos de deterioro que los mecanismos de la corrosión de la tinta provocan en ella misma y el soporte gráfico.

6.5.1 Cambios de color de la tinta

El color en el color de las tintas es el más común y el primero de los efectos de deterioro de las tintas ferrogálicas. Como se sabe, el color original de la mayoría de las tintas ferrogálicas presentaban un color negro, con cierta tonalidad violácea o azul, debido a que ese color pertenece del galato férrico insoluble formado durante la elaboración de la tinta.

Pasado un tiempo tras su aplicación, y a causa de la oxidación de los componentes de la tinta y el papel, la tinta ferrogálica va tomando un color más oscuro que, en el caso de los manuscritos, pero en otras obras gráficas podría resultar mucho más negativo desde el punto de vista estético de la imagen (James, 2000).

Banik, experto en el daño causado por tintas ferrogálicas, expone que las tintas con exceso de sulfato ferroso tienden a adquirir un matiz café oscuro, mientras que en las que presentan un exceso de taninos en su composición, la tonalidad tiende más a café-amarilla. No obstante, eso no significa que sólo las tintas de tonalidad oscura tienen un exceso de iones de hierro, ni que sea posible establecer esto a simple vista (James, 2000).

Además, durante un estudio reciente respecto en la composición de las tintas ferrogálicas realizado en la Escuela de Ingenieros en colaboración con el IAPH, se mostró el cambio de color que pueden llegar a experimentar las tintas. En dicho trabajo, se elaboraron dos tipos diferentes de tintas. El primer tipo, se encontraba compuesto por sulfato de hierro, agua, goma arábiga y ácido tánico. Entretanto, el segundo tipo contempló como materias primas el sulfato de cobre y el ácido gálico, además del sulfato de hierro, la goma arábiga y el agua. Ambas tintas se caracterizaron por tener notorias diferencias visuales nada más ser producidas (ver Figura 36). Por un lado, la tinta que solamente tenía sulfato de hierro presentaba un tono negro violáceo, mientras que las tintas que contenían también sulfato de cobre mostraban un color negro azulado. Ambas tintas, después de ser aplicadas sobre el soporte, sufrieron un oscurecimiento, volviéndose los trazos de tinta mucho más opacos. Asimismo, ambas tintas fueron sometidas a un período de reposo de 10 días en sus respectivos recipientes, para ser posteriormente aplicadas en el papel, pudiendo apreciarse de nuevo un cambio de color en las mismas, ya que se había producido la oxidación de los iones de hierro y cobre, así como la reacción de los ácidos con las sales (García, 2019).



Figura 36. En la parte superior se aprecian las tintas de hierro y cobre recién aplicadas tras su elaboración. En la zona inferior del soporte se observan los trazos de las tintas tras una espera de 10 días (García, 2019)

6.5.2 Oscurecimiento y halos alrededor del trazo

La migración del ácido sulfúrico desde los trazos de tinta realizados en el soporte hacia sus alrededores es, esencialmente, la responsable de producir halos y oscurecimientos en el papel (Neevel & Mensch, 1999). No obstante, durante el proceso de oxidación, también se originan dobles enlaces como en la formación de aldehídos y cetonas que generan productos coloridos, los cuales son apreciados en el documento como halos y oscurecimientos.

Este efecto de deterioro da lugar a una reducción de la visibilidad del texto, ya que hay poco contraste entre la tinta y el resto de la página oxidada (James, 2000). Asimismo, a partir de la oxidación del hierro se forman hidróxidos de hierro (Fe^{3+}) que también son visibles como halos cafés (Neevel, 1995).

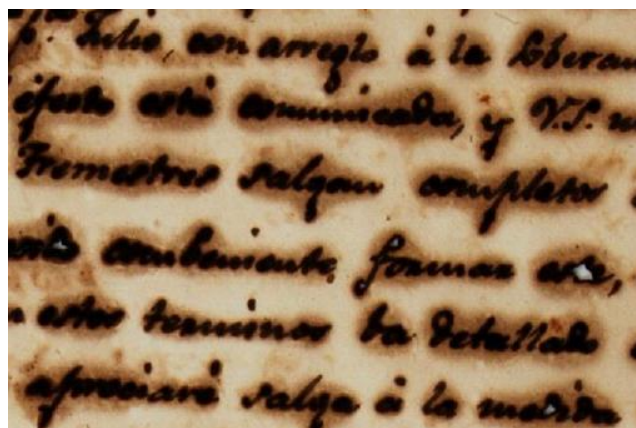


Figura 37. Halos alrededor de los trazos escritos (Odor, 2013)

De este fenómeno se ha hecho mención en el apartado anterior, donde se ha expuesto que en el proyecto realizado en la ETSI se hizo un estudio experimental con réplicas de papel y tintas

elaboradas en el laboratorio, donde se pudo apreciar dichos cambios de color y formación de halos, así como otras alteraciones típicas que se indicarán a continuación (ver Figura 36).

6.5.3 Trasminación hacia el reverso y hojas contiguas

El ácido sulfúrico tiene la capacidad de migrar hacia el revés del soporte gráfico y hacia hojas colindantes. Ello origina el efecto denominado trasminación (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005), el cual se basa en el traspaso del texto de un lado del papel al otro y/o a las hojas contiguas, lo que dificulta su lectura e intensifica el deterioro del documento patrimonial.

Este fenómeno junto con los halos producidos alrededor del trazo, es uno de las causas de deterioro más característicos de la tinta ferrogálica.

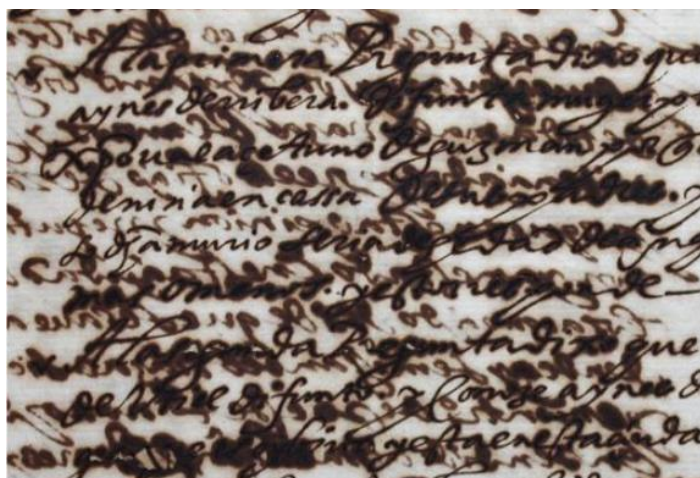


Figura 38. *Trasminación de la tinta* (Odor, 2013)

6.5.4 Reducción de la propiedad de mojado y pérdida de resistencia del papel: fragilidad y generación de fracturas

Como se describió en apartados previos, la temperatura y humedad tienen un efecto directo en la preservación y buen estado de los manuscritos. Por lo que, cuando las condiciones ambientales son desfavorables, estos dos agentes indisolubles son los responsables en la mayoría de los casos.

Ambos factores se encuentran ligados de una manera directa ya que cuando se produce un aumento brusco de temperatura en una atmósfera específica, mayor será la cantidad de agua que un determinado volumen de aire necesite para su saturación y, por tanto, más reducida será su humedad relativa. Por el contrario, si la temperatura desciende de manera drástica, se ocasionará la condensación de humedad del ambiente y aparecerán gotas de agua, las cuales pueden depositarse en la superficie del papel y causar numerosos daños.

Asimismo, el soporte de papel precisa de una cantidad concreta de humedad para poder conservar la flexibilidad de sus fibras. Si existe un exceso de dicha humedad puede suscitarse la descomposición del papel por hidrólisis, así como la formación de ácidos derivados de sales y otros productos empleados en la elaboración del papel o en la composición de las tintas. A su vez, cuando existe una atmósfera seca ésta causará el descenso de la humedad del papel, reduciendo los enlaces interfibrilares de la celulosa y, en definitiva, provocando que el documento se convierta en un material más frágil y friable.

Por ello, la sequedad y las temperaturas elevadas, así como el exceso de humedad, son factores acelerantes del envejecimiento natural del papel. Es decir, las oscilaciones bruscas y persistentes de

ambos agentes someten a las hojas de papel a fuertes tensiones de contracción y dilatación, las cuales desembocan en la fractura de los enlaces estructurales del soporte.

Como se explicó en el punto 6.2.2, sobre causas físico-ambientales y sus efectos, la luz no supone un inconveniente para la adecuada conservación del papel siempre y cuando su intensidad sea controlada. No obstante, un exceso desmesurado de ella, y principalmente la presencia de diversos tipos de radiaciones, es una significativa causa de deterioro de documentos gráficos.

De entre todas las radiaciones lumínicas, las ultravioletas son las que producen un mayor daño para los manuscritos. Cuanto mayor sea su frecuencia o su energía, mayor cantidad de ella absorberá la superficie del documento, lo cual desencadenará en las reacciones de fotólisis, fotooxidación y fotocatalisis.

La luz actuará sobre los ingredientes e impurezas del papel y decolorará las tintas aplicadas en éste. Los productos resultantes de esta dañina acción actúan sobre la celulosa, la cual se debilita a causa de la rotura de sus cadenas moleculares. Asimismo, los papeles que posean lignina sufrirán un oscurecimiento, así como un tono amarillento debido a la oxidación de dicho componente y el olor característico de documentos históricos.

Teniendo presente toda la confluencia ocasionada por estos factores, se sabe que los grupos con dobles enlaces (aldehídos y cetonas), producidos en las moléculas de celulosa durante su oxidación, son menos polares que los grupos hidroxilo y ello conlleva a que se reduzca la formación de nuevos puentes de hidrógeno. A causa de esto, las zonas donde el papel ha sido dañado por la tinta suelen ser menos hidrofílicas que las zonas sanas (Botti, 2005), lo que origina tensiones diferenciales ya que el papel absorbe agua de forma heterogénea. Dichas tensiones diferenciales, junto con la hidrólisis suscitada por el ácido sulfúrico, suelen provocar fracturas en las áreas más dañadas y, en especial, sobre los trazos de tintas (James, 2000).



Figura 39. *Manchas por migración de la acidez del soporte* (Grañén, 2010)

Asimismo, debido a la reducción del grado de polimerización de las cadenas de celulosa durante la hidrólisis ácida y a la disminución de puentes de hidrógeno a partir de la formación de grupos de carbonilo y carboxilo durante su oxidación, el papel padece una reducción en su resistencia, convirtiéndose en un material cada vez más frágil. Ello dificulta su manipulación, implicando un significativo riesgo potencial de pérdida de información.

6.5.5 Carbonización del papel y pérdida de material

Las tintas ferrogálicas con exceso de hierro (Fe^{2+}) en contacto con condiciones ambientales inapropiadas, causan daños muy severos sobre el soporte en el que se encuentren aplicadas. La tinta, además de ser ácida por naturaleza, puede generar una concentración elevada de acidez, desembocando en a carbonización del documento. Este deterioro tan severo da lugar a la formación

de fracturas, pérdida del material y, en casos extremos, a la destrucción irreversible del documento.



Figura 40. Carbonización del papel y pérdida del material (Tacón, 2011)

Birgit Reissland y Judith Hofenk de Graaff, especialistas de referencia sobre tintas ferrogálicas, exponen el proceso de corrosión de las tintas sobre los soportes de papel, explicándolo mediante un esquema de siete cortes estratigráficos (ver Figura 41). En cada uno de esos pasos, comentan el avance del deterioro de cada trazo de tinta hacia la periferia del mismo, además de explicar cómo se aprecia bajo la luz ultravioleta (UV) y la luz de día (Reissland, 2000).

A partir de dicho modelo y del análisis del documento con luz UV, es posible revelar el inicio del deterioro por corrosión de la tinta, acción que a simple vista no es posible apreciar en los instantes iniciales del mismo.



Figura 41. Esquema del proceso de degradación del papel causado por tintas ferrogálicas (Odor, 2013)

Tal y como puede verse en la Figura 41, conforme los efectos de deterioro a causa de las tintas empiezan a ser visibles con la luz de día, van dejando de serlo para la luz UV (Axer, 2003).

Por último, a modo de resumen, en la Figura 42 se expone un esquema de los principales efectos de deterioro de documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas:

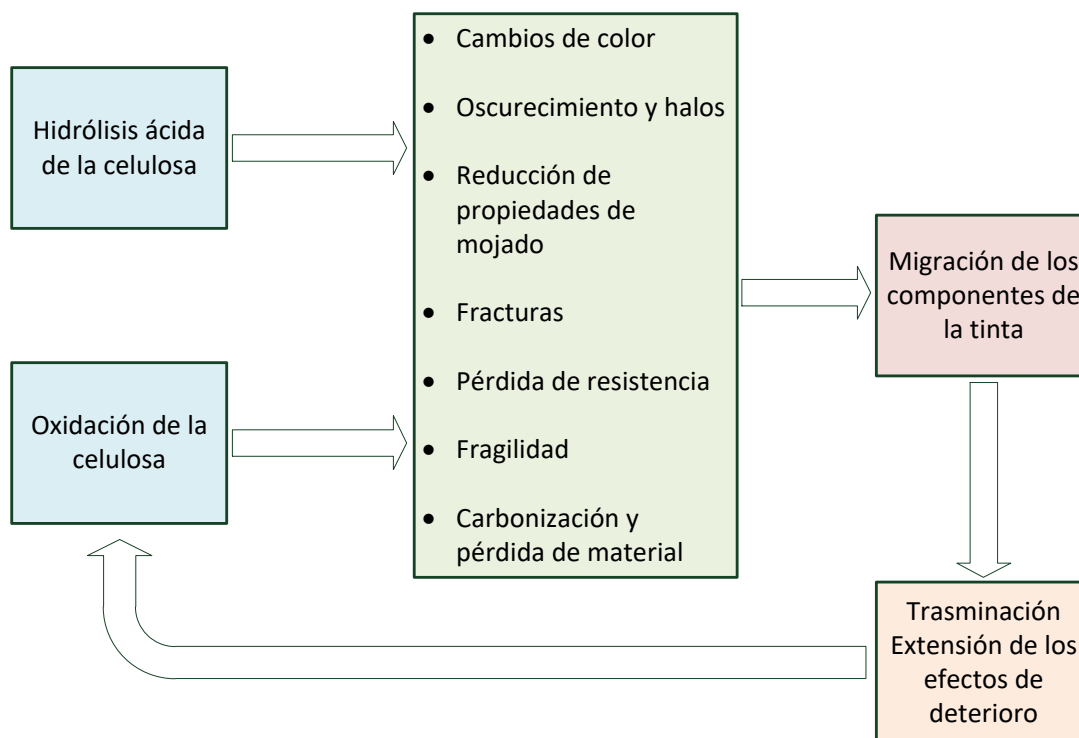


Figura 42. Principales efectos de deterioro a causa de las tintas ferrogálicas

7 RESTAURACIÓN

En la actualidad, la restauración concentra todo su empeño en preservar y defender el valor documental que toda obra posee, definido por su integridad privativa e insustituible. Dicha integridad se encuentra conformada tanto por los valores metafísicos como por los valores materiales, siendo ambos imprescindibles para delimitar cualquier tipo de trabajo restaurativo (García, 2019).

El valor metafísico hace referencia a los aspectos inmateriales de la obra, es decir, su condición tiempo-espacial, la motivación o influencia que provocó su forma y estilo... siendo clave el mensaje que el autor pretendió difundir con dicha obra. En conclusión, aglomera la suficiente información respecto a la idea plasmada del autor, lo que permite conocer el desarrollo que tuvo su pensamiento en la sociedad a la cual perteneció (Crespo & Viñas, 1985).

Por otro lado, la valoración material comprende aquellos aspectos prácticos y físicos de la obra. Es decir, se encarga de reunir la singularidad de todos los elementos empleados para su concepción, al tiempo que expone la forma en que esos elementos fueron dispuestos para realizar la función deseada. (Crespo & Viñas, 1985).

Por tanto, la valoración documental es mayor cuanto más elevada sea la integridad total o absoluta de la obra. Dicha integridad depende directamente de la valoración metafísica, la cual a su vez se halla condicionada por el estado de conservación en el que se encuentre el material documental. Esto es, el deterioro físico limita, en gran medida, su capacidad funcional, desencadenando incluso su pérdida parcial o total y ocasionando la pérdida o anulación del mensaje de cada obra (Crespo & Viñas, 1985).

Por ello, resulta evidente la gran responsabilidad y compromiso que supone cualquier intervención de restauración, puesto que sin ella no sería posible realizar la recuperación de la integridad perdida del documento patrimonial. No obstante, dicha actuación no puede incluir la modificación de su singularidad. Por lo tanto, es indispensable tener presente todos los posibles riesgos que la propia intervención puede generar, así como la necesidad de evitar provocar ningún otro daño durante el desarrollo de la labor restaurativa o problemas derivados de la misma.

Por consiguiente, es vital marcar unos criterios generales para todo proceso de restauración. Asimismo, debe inculcarse la búsqueda constante de una correcta profesionalización de los operarios que desarrollen el trabajo, consiguiendo así proporcionar el máximo respeto a la valoración documental y despreciar completamente cualquier tipo de manipulación o metodología que pueda ser motivo de riesgo o daño directo.

7.1 Criterios de restauración

Como se ha comentado con anterioridad, la restauración tiene como objetivo la recuperación de la integridad física y funcional de una obra, ya sea mediante la corrección de las alteraciones o a través de la eliminación de los daños que la afectan.

Con lo cual, los métodos de restauradores deben ser aplicados directamente sobre la misma obra, puesto que es el único camino de poder remediar y solucionar los daños que producen su modificación o alteración integral. Por tanto, dicha aplicación directa conlleva una gran responsabilidad, debido a que se añade el riesgo provocado por la manipulación y por los propios

medios utilizados al deterioro ya existente en la obra.

A causa de todo ello, es inaceptable cometer ningún error, puesto que, si se cometiera alguno, sería necesario enmendarlo a través de otra restauración, incurriendo en una mayor posibilidad de riesgo a dañarlo aún más. Por ello, se produce la obligatoriedad de abandonar toda práctica de dudosa efectividad y prescindir de cualquier manipulación que represente una nueva alteración dañina.

Por lo tanto, todo procedimiento de restauración debe ceñirse a la deferencia de la integridad total y única de la obra, ya que con ello se logrará perdurar la legitimidad de lo que el autor deseaba realizar y transmitir.

Teniendo en cuenta estos principios, los criterios de restauración se serán los siguientes (Crespo & Viñas, 1985):

a) Abstención de las intervenciones que supongan una modificación real o aparente

Evitar cualquier tipo de manipulación que implica variar de una forma real o aparente las originales y particulares características documentales de la obra. Por tanto, se excluye de forma tajante cualquier intervención que pueda suscitar un nuevo deterioro. En consecuencia, esta premisa exige la identificación de todos aquellos valores que determinan la integridad de la pieza, para así definir el tratamiento más conveniente, el cual deberá estar acorde con las posibilidades técnicas y humanas disponibles en el momento.

b) Eliminación de los revestimientos ajenos a la obra que adulteran su interpretación documental histórica o artística.

Eliminar todos aquellos encubrimientos que imposibilitan o adulteran la interpretación documental histórica o artística de la obra, siempre y cuando sean ajenas a la integridad total de ella. Dichos enmascaramientos pueden tratarse de suciedad depositada en el papel, parches implantados, pseudorreparaciones... los cuales distraen o desvalorizan a la obra. No obstante, se debe respetar todos aquellos añadidos que tienen lugar a lo largo de la propia evolución del documento, es decir, aditamentos que son testimonios de la evolución histórica que el propio material padece.

c) Estabilización y consolidación

Necesidad de estabilizar y consolidar, y en ciertos casos neutralizar, los elementos degradados; con el objetivo de evitar, por tanto, el reemplazo o eliminación de los mismos.

d) Reincorporación de fragmentos desprendidos

Reincorporar los elementos que se han separado de la obra, siempre y cuando se tenga la total certeza de su pertenencia al documento.

e) Reconstrucción

Reconstruir aquellos fragmentos que se han perdido con el paso del tiempo pero que son fácilmente identificables gracias a la documentación disponible que exista de la obra. Dicha reconstrucción deberá realizarse mediante técnicas y materiales distintos para que al integrarse al conjunto pueda reconocerse por su carácter no original.

f) Reintegración de los elementos perdidos

Decantarse por reintegrar los elementos desconocidos sin posibilidad de reconocimiento, siempre y cuando su existencia sea imprescindible para que el documento se comprenda o se mantenga físicamente de manera favorable, atendiendo a un estilo neutro y a materiales distintos del original para que pueden ser diferenciados de la integridad original o primitiva del documento a tratar.

Todos estos criterios dan respuesta a la usual problemática de la reconstrucción y reintegración, ya sea del soporte como del elemento gráfico del documento. Esta circunstancia resulta ser un tema controvertido debido a la dificultad de que conlleva reunir todos los datos y elementos necesarios para lograr una correcta reconstrucción, así como por las presiones que en ocasiones tienen lugar debido al deseo de que la alteración quede oculta o difusa por procedimientos que pertenecen a la falsificación.

7.2 Proceso de restauración

Cada obra, dependiendo del grado de deterioro y de las circunstancias particulares en las que se encuentre, precisará de un tratamiento de restauración específico. Por ello, no es posible seguir unas reglas universales y comunes para todos los casos, aunque sí que existe un sistema que integre y organice todos los procedimientos de aplicación factibles de un proceso restaurativo con valoración científica para la recuperación de la pieza.

El conjunto de tratamientos es lo que se conoce como proceso de restauración, el cual rechaza totalmente la improvisación y busca garantizar la corrección de aquellas alteraciones típicas mostradas por los documentos patrimoniales al tiempo que proporciona la seguridad necesaria para evitar un daño mayor al mismo.

Por tanto, cada obra deberá seguir unas fases aplicables u otras según sean las necesidades que contenga, por lo que no tendrá que pasar por todos los pasos que engloba la restauración. Es decir, todas las alteraciones que la obra muestre, así como sus particularidades intrínsecas, son las que delimitan la actuación de las fases restauradoras indispensables para su caso particular. Una vez elegidas y ordenadas correctamente, no deberá producirse una alteración en su disposición sin antes albergar la seguridad de que no interferirán en la buena actuación de los que les precedieron. En otras palabras, la actuación de los puntos anteriores no podrá verse alterada u obstaculizada por los puntos que posteriormente se vayan a ejecutar, ya que todos y cada uno tienen una función clave para la mejora y restauración de la pieza.

Antes de comenzar con el desarrollo de todos los apartados, es imprescindible tener presente que los dos primeros, control e identificación, diagnóstico y determinación del tratamiento, suponen el inicio esencial e irremplazable para todas las intervenciones restauradoras. Además, los apartados intermedios de secado y alisado tendrán que ser aplicados tras el tratamiento que exija mojar al documento. Asimismo, es indispensable que la desacidificación de las tintas que contenga el documento se lleve a cabo cuando se tenga pleno convencimiento de que cualquier tratamiento posterior no la anule o minimice sus efectos.

Los procesos que conforman el tratamiento de restauración son (Crespo & Viñas, 1985):

7.2.1 Control

El apartado de control contempla todas aquellas tramitaciones de carácter administrativo que

acompañan siempre a una actividad de restauración. Entre dichas gestiones destacan: el registro de ingreso y salida, la identificación de la obra, la distribución interior y el archivo de datos (García, 2019).

Para llevar a cabo un control adecuado y ordenado debe evitarse el acopio excesivo de documentos y obras que requieren su tratamiento pertinente. Por ello, es preferible realizar el ingreso de las piezas de acuerdo a las posibilidades de actuación del laboratorio o taller, puesto que si no se llevara a cabo de esta forma podrían producirse situaciones perjudiciales para la obra, como pueden ser riesgos por un almacenamiento prolongado o la sensación errada de lentitud en los trabajos. Por lo tanto, es aconsejable que el primer paso dentro del procedimiento del control sea la orden de admisión, en vista a los criterios de posibilidades técnicas y humanas, además de la urgencia y la valoración documental (García, 2019).

No obstante, existe una alternativa de control en la cual se distribuyen los trabajos entre las distintas áreas del laboratorio, para así agrupar tareas similares y tratar de lograr el máximo rendimiento posible, ya sea de las instalaciones como de los operarios que realizan el trabajo. De esta forma, se agruparán los documentos u obras que por similitud requieran tratamientos afines. Ello beneficiará el ritmo de trabajo de los talleres, consiguiendo mayores resultados cuando las obras a restaurar muestren una problemática parecida, ya sea por los materiales a emplear o por el ritmo del propio equipo humano (Pérez, 1993).

Tras la admisión de la obra, se debe realizar el expediente particular de la misma, en el cual se recojan todas aquellas circunstancias que permiten la elaboración de un minucioso historial. En esta documentación se encontrarán tanto las características genéricas de su registro, como los datos claves de su identificación (procedencia, autor, fecha, dimensiones, técnicas y materiales...); asimismo, se recogerán aquellos datos reportados durante el proceso de restauración. Toda esta información convergerá en un expediente en el cual se congregan todos los aspectos valorados como favorables para el estudio del documento. Dichas reseñas serán archivadas para estar a disposición de todo aquel que tenga interés por los trabajos o por otro tipo de información complementaria (Pérez, 1993).

Este expediente irá anexo al documento en todo momento a lo largo del proceso restaurativo. Se posibilita que el expediente se haga en forma de ficha, de manera que toda la información quede más sintética y simplificada. La ficha irá completándose conforme el proceso de restauración vaya avanzando hasta comprender todos los elementos necesarios y aptos para su estudio, incluyendo diversas recomendaciones para la conservación al finalizar todo el procedimiento. A modo de ejemplo, en la Figura 43 se expone la ficha expediente de una obra que precisa de ser restaurada (Orozco, 2019):

SERVICIO NACIONAL DE RESTAURACION DE LIBROS Y DOCUMENTOS	N.º de Reg.
FICHA DE IDENTIFICACION	Entrada
	Salida
Objeto	
Técnica	
Dimensiones alto ancho espesor	
Autor	
Titulo o	
Descripción	
Lugar	
Fecha	
Procedencia	
Depositado por	

Figura 43. Ejemplo de ficha expediente de una obra a restaurar (Orozco, 2019)

Asimismo, paralelo a esta ficha, se debe completar una segunda en la que se documenten todos los trabajos de intervención y restauración llevados a cabo, quedando así constancia de las operaciones ejecutadas, tanto para futuras revisiones como para atestiguar los medios empleados y la forma de proceder. En la Figura 44 se muestra un ejemplo de una ficha de restauración:

ARCHIVO HISTÓRICO NACIONAL		N.º de Reg.
PROCESO MANUAL <input type="checkbox"/> PAPEL <input type="checkbox"/> PERGAMINO		Entrada Salida
Limpieza: <input type="checkbox"/> Goma de borrar <input type="checkbox"/> Blenda <input type="checkbox"/> Dura <input type="checkbox"/> Resina polvo <input type="checkbox"/> Fibra de vidrio: <input type="checkbox"/>	Realizado por:	
Fijación: <input type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Impregnación <input type="checkbox"/> Total <input type="checkbox"/> Parcial		
Lavado		
Eliminación de manchas		
Blanqueamiento Neutralizado con		

Figura 44. Ejemplo de ficha de restauración (anverso) (Orozco, 2019)

Las características de estas fichas no tienen porqué ser fijas, sino que pueden darse de forma aleatoria, siempre y cuando se reflejen todas las actuaciones llevadas a cabo. No obstante, las fichas expuestas en las Figuras 43 y 44 son ejemplos de fichas muy antiguas y en la actualidad se emplean fichas en formato digital, así como bases de datos y demás material recopilatorio de información.

7.2.2 Examen material: identificación, análisis y diagnóstico

Antes de realizar cualquier tipo de tratamiento de conservación o restauración es indispensable llevar a cabo un reconocimiento y valoración de la obra, así como una rigurosa interpretación de todas las alteraciones que la obra sufre. Si este procedimiento no se ejecuta, podría producirse una intensificación de los riesgos, así como otros nuevos, que son ocasionados por todo proceso restaurador, pudiendo resultar en consecuencias imprevisibles o catastróficas.

Por ello, el tratamiento restaurador debe iniciarse con un previo diagnóstico, el contempla el siguiente planteamiento analítico (Tacón, 2005):

7.2.2.1 Análisis de la obra

Se trata de realizar una valoración y reconocimiento de las características físicas y materiales del documento, así como de las culturales. El reconocimiento íntegro de la obra conlleva los siguientes aspectos: identificación de sus valores documentales, la delimitación espacio-temporal del momento histórico de su concepción y sus posibles aditamentos; la argumentación objetiva de las modificaciones físicas o funcionales que ha padecido, el reconocimiento de las propiedades y características de los materiales que la constituyen y, por último, el estudio estructural de los

elementos que conforman la integridad de la obra (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.2.2 Diagnóstico

Un buen diagnóstico del estado de conservación debe determinar aquellas causas que originaron la alteración y los efectos o daños físicos y funcionales que las motivaron (García, 2019).

7.2.2.3 Determinación del tratamiento

De acuerdo a los datos obtenidos con los puntos anteriores, se decidirá el tratamiento más adecuado a realizar para establecer la integridad metafísica y funcional que el documento presentaba originalmente. Con ello, se garantiza que la metodología utilizada de unos resultados positivos y conocer, además, cuáles valores son los exclusivos de acuerdo a su condicionamiento histórico y destino (Crespo & Viñas, 1985).

Para la determinación de la naturaleza y el estado de conservación de los documentos a tratar se necesitan realizar distintos tipos de análisis, los cuales se indican a continuación:

Análisis estructural

En consonancia a la necesidad de tener que sacrificar o no cierta cantidad de la materialidad de documento a tratar, el análisis estructural puede dividirse en dos tipos de pruebas: destructivas y no destructivas.

➤ **Pruebas no destructivas**

Albergan una mayor preferencia frente a las pruebas destructivas. Las pruebas no destructivas se caracterizan por ser no dañinas y reversibles en el caso de que hubiera que aplicar elementos ajenos al conjunto.

En este grupo se tienen en cuenta las pruebas o análisis basados en la simulación o el envejecimiento artificial a través de la reproducción del problema o daño que presente el documento en idénticas condiciones sobre otro material igual o similar, llevando a cabo posteriormente diferentes ensayos para evaluar y conocer cómo ha tenido lugar la degradación de la obra.

Asimismo, es importante aclarar que las pruebas destructivas como las no destructivas no son excluyentes, por lo que podrían realizarse de forma escalonada si el documento lo requiere. No obstante, las pruebas no destructivas permiten eximir a la obra, en diversas ocasiones, de tener que ejecutar un sacrificio de un fragmento de la pieza original y, por tanto, posibilitan obtener un conjunto de resultados favorables bastante extensa, dependiendo del éxito que se haya logrado con la semejanza o réplica.

Gracias a estas pruebas no destructivas, talleres y laboratorios pueden llevar a cabo estudios de simulación sobre la obra con la que traten, pudiendo realizar envejecimientos artificiales en las mismas condiciones ambientales en un soporte de papel fabricado con el mismo material. Esto posibilitará conocer, en gran medida, las afecciones ambientales y el grado de alteración que producen en la probeta fabricada, bajo unas condiciones de operación controladas y seguras. Gracias a ello, las pruebas destructivas no serán necesarias y se logra mantener a la obra intacta y sin padecer ninguna pérdida material.

➤ **Pruebas destructivas**

En este tipo de pruebas se realiza el sacrificio del material de la obra lo más pequeño posible, teniendo siempre presente que dicha acción resulte imperceptible y que no sea un

daño sustancial al documento.

Como recomendación se indica siempre que solo se lleve a cabo en caso de que así se exija y cuando no sean suficientes o no se puedan ejecutar las pruebas no destructivas, garantizándose en todo momento que el daño no signifique un mayor deterioro para la obra del que ya presenta.

Análisis físico

Los análisis físicos contemplan:

- Solubilidad de tintas.
- Dirección predominante de las fibras en el soporte.
- Diferencias anverso y reverso: satinado y porosidad.
- Espesor y gramaje.
- Consistencia del soporte: resistencia a la tracción, al alargamiento, al plegado y a la explosión.
- Colorimetría.
- Envejecimiento acelerado.
- Estabilidad a la luz.
- Estabilidad a agentes de contaminación atmosférica.

Análisis químico

Entre los análisis químicos destacan:

- pH.
- Análisis de pastas.
- Análisis de fibras.
- Análisis de cargas.
- Análisis de adhesivos.
- Análisis de tintas.

Análisis biológico

Los análisis biológicos se corresponden con:

- Índice de contaminación de la obra.
- Índice de contaminación ambiental.
- Identificación de especies bibliófagas.

Tras conocer las características documentales pertinentes, los materiales que conforman la obra y aquellas causas o efectos que condujeron a las diferentes alteraciones contempladas, se dispondrá de la potestad para determinar los medios y procedimientos más apropiados para lograr el restablecimiento de la integridad física y funcional que el documento ha perdido a lo largo del

tiempo. Por tanto, la selección de dichos procedimientos y métodos estará especificado por los resultados proporcionados en los estudios previos, respaldando la obtención de resultados satisfactorios.

7.2.3 Fotografía

La fotografía queda comprendida en el procedimiento desde la fase inicial de control. Entre las funciones que desempeña en el mundo de la restauración, destacan las réplicas de seguridad, el testimonio del estado de conservación, la investigación y la docencia (Pascual, 2005).

7.2.3.1 Réplica de seguridad

La manipulación ejecutada durante el proceso de restauración con lleva en sí misma un riesgo para el documento. En todos los casos se emplean medios y procedimientos seleccionados acorde a la mantener la seguridad del documento, pero ello no impide que puedan tener lugar accidentes que provoquen un desperfecto en la obra como puede ser la dilución de la grafía o, incluso, la pérdida de algún fragmento de soporte de papel.

Por ello, antes de la manipulación de la obra y de efectuar los tratamientos pertinentes en la misma, debe haberse fotografiado para obtenerse una réplica fotográfica, la cual permita apreciar su apariencia general y aquellos detalles que la caracterizan.

En estas fotografías de seguridad es indispensable que la copia presente una claridad y nitidez suficiente para que posibilite la reconstrucción. Antiguamente, la copia se realizaba mediante negativos o con microfilm si la obra tuviera un gran volumen. En la actualidad, estos métodos han sido reemplazados por la fotografía digital, a causa de la gran calidad que ha alcanzado a lo largo de los años.

7.2.3.2 Testimonio del estado de conservación

Este aspecto de la fotografía de una obra alberga una doble función: por un lado, se encarga de completar la réplica de seguridad exhibiendo el estado de deterioro que padece la obra y, por otro lado, actuar a modo de referencia para los tratamientos a ejecutar.

Con lo cual, permite obtener un amplio abanico de aspectos relativos a la integridad física o funcional, además de lograr la mayor documentación posible de las diferentes alteraciones que sufre la pieza. Esto último se consigue mediante diversos sistemas de iluminación, los cuales son (Crespo & Viñas, 1985):

- **Luz cenital:** el foco es colocado en perpendicular al plano donde se encuentra ubicado el documento. Esta iluminación un gran nivel de detalle sobre la grafía, las manchas, grietas, suciedad y regiones perdidas del soporte.
- **Luz rasante:** la iluminación se coloca de forma lateral, a una distancia y ángulo para generar sombras para identificar y localizar la alteración. Permite conocer al detalle las deformaciones superficiales tal como son los pliegues, arrugas y demás elementos que determinan un relieve.
- **Luz transmitida o por transparencia:** los focos de luz son instalados bajo una superficie lisa y transparente, proporcionando una iluminación distribuida uniformemente. Es utilizada para delimitar exhaustivamente grietas, parches, lagunas y superposiciones, siempre y cuando el soporte sea translúcido.

Las fotografías requieren llevarse a cabo a lo largo del proceso y al final del mismo, para así

incluirlas en el expediente y que sean testimonio de los trabajos logrados. Asimismo, estas secuencias fotográficas deben tener una correspondencia adecuada con las realizadas antes de comenzar con la restauración, permitiendo así que puede percibirse la evolución en de su estado.

7.2.3.3 Investigación

La fotografía puede llegar a ser imprescindible para conocer múltiples aspectos y complementar los datos obtenidos en los estudios físicos, químicos y biológicos efectuados previamente. De acuerdo al tipo de fotografía que se realice se generarán distintos datos del documento, dichos tipos son:

- **Microfotografía:** facilita la apreciación de aquellos aspectos que no son visibles a simple vista y exigen un incremento de tamaño de aquello que se está estudiando. Se realiza mediante microscopio y se aplica para el análisis de fibras, estudios micológicos, pigmentaciones, manchas, etc.
- **Macrofotografía:** se utiliza para ver aquellos detalles que, aunque pueden apreciarse fácilmente, es apropiado verlos con fotos aumentadas para facilitar su interpretación mucho más. Se emplean equipos fotográficos adaptados a lupas o lentes de aproximación. Permite el estudio de grafía, estructuras fibrosas, técnicas de estampación, de dibujo, etc.

Asimismo, junto con la luz de día artificial o iluminación natural, existen otras radiaciones lumínicas que exhiben detalles o características que no son posibles de visualizar con la luz convencional. Estas radiaciones son:

- **Fotografía con radiaciones infrarrojas:** aclara diferentes superposiciones de varios pigmentos, los cuales por su semejanza cromática no son fáciles de identificar a simple vista. Ayuda a percibir aquellos elementos que se encuentran situados en la superficie de la obra.
- **Fotografía con radiación ultravioleta:** posibilita ver aquellos elementos que se localizan en capas inferiores a la superficial y que son casi inapreciables ya sea por su escasa presencia (como ocurre con los textos empalidecidos) o por su semejanza cromática con el soporte (retoques).
- **Radiaciones X:** se encarga de mostrar las formas que albergan los elementos estructurales que conforman el documento. No suele aplicarse al campo de documentos a causa de los escasos resultados que se obtienen, puesto que el espesor de las obras y su poder de absorción es muy reducido.

7.2.4 Medidas de protección del papel durante el proceso de restauración

A lo largo del proceso de restauración existen situaciones en las que el riesgo habitual o presumible que conllevan estos trabajos se vea incrementado a causa de diversas circunstancias que pueden dar lugar a la pérdida de la integridad del soporte.

Por ello, previo a cualquier procedimiento restaurativo en el que se utilicen materiales que no pertenezcan a la pieza en sí, se deben adoptar varias medidas de protección para el documento para así preservar su singularidad original de los probables riesgos (Vergara, 2002).

Dichas situaciones de riesgo con frecuencia se dan en los tiempos de espera entre un tratamiento y otro, en aquellos tratamientos en los que se trabaje con gas, en tratamientos locales y, principalmente, en los tratamientos por baño.

En los siguientes subapartados se describen las diferentes medidas a adoptar para cada uno de los casos contemplados (Crespo & Viñas, 1985):

7.2.4.1 Protección durante los tiempos de espera

A lo largo de todo el ciclo restaurativo la obra padecerá varios tiempos de espera, ya sea antes de comenzar con el tratamiento, durante los distintos intervalos entre unas etapas y otras o después de finalizar el trabajo y efectuar la entrega.

En esos intervalos de tiempo existe la posibilidad de originarse un desgarro, una mancha, un doblez, etc.; presentando todos ellos una mayor probabilidad de suceder cuanto mayor sea el amontonamiento y el descontrol de los documentos patrimoniales.

Para evitar que estos riesgos se produzcan, es conveniente disponer de almacenamientos apropiados para cada obra; como son los estuches, armarios, carpetas, archivadores, cajas, bolsas, etc. Las dimensiones y características constructivas deben asegurar adecuadamente su condición de contenedores, de tal forma que la documentación pueda permanecer en su interior con suficiente holgura y sean capaces de protegerla de posibles accidentes por negligencia en su almacenamiento.

Asimismo, los documentos deben albergar el suficiente espacio en el mobiliario durante los tiempos de espera, siempre teniendo presente que el almacenaje sea organizado y no amontonado. Igualmente, tanto los almacenamientos individuales como las estanterías y armarios deberán tener la máxima calidad posible.

7.2.4.2 Protección durante los tratamientos gaseosos

Es muy importante dejar claro que el tipo de protección dependerá principalmente de cómo se ejecute el tratamiento. Por ello, cuando el tratamiento se lleva a cabo en cámaras y en su interior no hay turbulencias ni fuertes corrientes del gas, la protección se centrará en la manera de instalar la documentación sobre los diferentes estantes, con el fin de impedir que sufra cualquier daño, ya sea por la posición adoptada o por el roce con algún elemento incisivo.

Este cuidado cobra mucha importancia cuando se realiza el secado de documentos que han sufrido daños por inundación o una alteración similar, ya que pueden generarse arrugas y deformaciones en sus hojas, lomos, tapas o cubiertas. Para impedir este deterioro, se suelen emplear soportes adicionales para lograr generar los apoyos suficientes y sin dificultar la acción del aire.

Por otro lado, en caso de realizar el secado mediante la aplicación de gas de forma directa (por ejemplo: limpieza de polvo mediante succión de aire), el documento debe ser cubierto con una malla con una luz acorde al estado de conservación de la obra, pudiendo ser de gasa, de tela, o incluso de plástico.

7.2.4.3 Protección durante los tratamientos parciales

Al realizar un tratamiento parcial, el paso más recomendable es proteger aquella parte de la obra que no va a padecer ese procedimiento restaurativo. Dicha cobertura se ejecuta mediante una lámina impermeable, semirrígida y, a ser posible, transparente.

Además, el protector seleccionado deberá ser antiadherente, para así prevenir la posibilidad de ser cargado eléctricamente y que arrastre o desprenda pigmentos poco aglutinados del documento.

Es frecuente que esta superficie protectora se caracterice por ser una lámina de metacrilato de 5 mm de espesor, conteniendo varios puntos de apoyo para separarlo del documento. Este sistema es muy utilizado en tratamientos de limpieza mecánica (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.4.4 Protección durante los tratamientos por baño

Los tratamientos por baños presentan uno de los mayores índices de riesgo para dañar la obra, puesto

que se basa en la introducción del documento en un medio diferente que no fue contemplado en su producción. En consecuencia, será ajeno a sus características básicas y dará lugar a situaciones desfavorables como son las deformaciones, desgarros, corrimiento de tintas...

Por tanto, es indispensable llevar a cabo como primer paso la comprobación de estabilidad de todos los elementos presentes en la obra (soporte, tintas, elementos sustentados, etc.) y el medio líquido a emplear.

En general, los documentos presentan una buena capacidad para soportar bien los baños en los líquidos habituales en la restauración, aunque estos últimos modifican por un periodo de tiempo concreto su consistencia por lo que la protección de los documentos será siempre indispensable. En el caso de emplear disolventes orgánicos, tendrá lugar el endurecimiento del soporte; mientras que si se utiliza agua, ésta lo reblandecerá y dará lugar en ciertos casos a situaciones desventajosas que lo predisponen a la exfoliación, al desprendimiento del estucado, el agrietamiento o al desgarro (Muñoz, 2010).

Para evitar que todas estas alteraciones no se conviertan en un daño irreversible, es de vital importancia que el documento se encuentre en todo momento previsto de protección a lo largo de todas las manipulaciones a las que deba someterse. Para ello, suelen emplearse soportes, los cuales le servirán de apoyo durante el tratamiento.

Estos soportes pueden ser de forma simple o doble (tipo carpeta), es decir, pueden estar en contacto con el documento por una sola de sus caras o por las dos. Cada uno de ellos se subdividirá, de acuerdo a sus características, en rígidos o flexibles y permeables o impermeables.

El soporte más utilizado es el flexible permeable, ya que presentan una buena manejabilidad y versatilidad en su uso. Dentro de este grupo, destaca el llamado *tejido no tejido* (también conocidos en el mercado como Reemay o Cerex), el cual se encuentra compuesto por fibras sintéticas (poliamida o poliéster) y destaca por ser muy resistente a la mayoría de los productos usados en la restauración, no son afectados por microorganismos aun cuando permanezcan largos periodos de tiempo húmedos, insensibles a los adhesivos habituales, bajo coste... (Crespo & Viñas, 1985).

Asimismo, también puede usarse como soporte el tejido normal, ya sea muy tupido o en forma de gasa. Sin embargo, su principal inconveniente es la necesidad de tener que ser lavados regularmente y ser planchados para que no transfieran manchas, arrugas, o microorganismos al documento a tratar.

Igualmente, es posible el uso de rejillas metálicas inoxidables o bien de material sintético como el nylon o el poliéster. Estos soportes precisan un especial cuidado, ya que no pueden adquirir ningún tipo de doblez, lo cual daría lugar a que se deformara el documento a tratar. No se aconseja la utilización de papel secante o filtro por su incapacidad de mantener su consistencia al estar mojado.

Por otro lado, aquellos soportes clasificados como flexibles e impermeables no son recomendables (papel parafinado o siliconado), debido a su deformación tras pasar un tiempo en el medio líquido y pueden ocasionar manchas a la obra cuando se desprenda el colorante que contiene las sustancias hidrófugas en su superficie.

En lo referente a los soportes rígidos y permeables, normalmente consisten en rejillas con distinta luz, pudiendo ser metálicas inoxidables o de fibras sintéticas. En general, se encuentran enmarcadas en un bastidor, el cual les proporciona tersura y rigidez, y en forma de carpetas. Frecuentemente se utilizan para aquellos casos en los que el documento a colocar en su interior muestra un alto grado de alteración que imposibilita cualquier tipo de manipulación.

Finalmente, dentro de los soportes rígidos e impermeables destacan las planchas de metacrilato transparente y las de PVC. El principal riesgo de este tipo de soportes es que el documento puede quedarse pegado a su superficie, por lo que resultará muy complicado la separación del mismo posteriormente. Debido a ello, es muy habitual colocar un soporte flexible entre el documento u el soporte rígido.

En diversos tratamientos de limpieza por lavado, el empleo de tableros de madera, corcho o similar

resultan muy prácticos gracias a su capacidad de flotación.

En ningún caso se recomiendan los soportes de cristal, puesto que su fragilidad puede originar accidentes indeseados durante su manejo. Tampoco se aconsejan las chapas perforadas metálicas a causa de que los mismos orificios pueden producir un deterioro por deformación o desgarro.

7.2.4.5 Protección durante la introducción y extracción del baño

Está demostrado que, a lo largo de todo el procedimiento de restauración, las dos operaciones de introducir y extraer el documento del baño son las que mayor peligrosidad implican, siendo la segunda la que más deterioro puede producir. Al estar mojado, el documento ha perdido su consistencia habitual de manera temporal y cualquier manipulación inapropiada puede dar lugar fácilmente a roturas y desgarros. Este tipo de eventualidad suceden generalmente cuando se trabaja con volúmenes de gran tamaño o cuando el tratamiento debe ser interrumpido rápidamente a causa de irregularidades en las tintas o en el propio soporte de papel.

Para eludir este riesgo, lo más aconsejable es utilizar un soporte tipo carpeta, el cual es rígido y permeable, lo que aporta una buena protección a la obra, así como proceder con la lentitud particular que cada caso necesite. No obstante, la mayoría de los soportes que se emplean son flexibles, dotados de la suficiente rigidez para mantener protegido el documento.

En el paso de introducción del documento en el baño, la mejor forma de actuación, así como más segura, es la de colocar el documento entre dos láminas flexibles permeables e introducirlo poco a poco con una inclinación de unos 45°. Gracias a ello, se evitará la formación de burbujas, las cuales podrían ser motivo de deformación y desgarros.

Por otro lado, en la extracción del documento debe cogerse las dos esquinas laterales del soporte e ir sacándolo con una inclinación igual a la que se usó en la introducción, estando siempre atento a que el documento no sale del soporte en ningún momento. El borde de la cubeta puede servir de apoyo para facilitar la salida y eliminar el líquido que hay en exceso en el soporte y en el documento.

7.2.4.6 Protección de las tintas o elementos sustentados durante el proceso restaurador

Las tintas y los elementos sustentados durante el proceso de restauración requieren un detalle adicional en la protección de los documentos patrimoniales. En primer lugar, debe evaluarse la estabilidad de las tintas, ya sea que se vayan a ejecutar tratamientos en seco o procedimientos en baño. Estas pruebas se encargan de comprobar la consistencia de estos elementos gráficos mediante abrasión, rozadura y, en especial, ante los líquidos que vayan a ser aplicados (Crespo & Viñas, 1985) (García, 2019).

En el caso de que estas pruebas den positivo, es decir, se produzca el desprendimiento, dilución o dispersión de la tinta, es incuestionable el tener que renunciar al tratamiento o si, por el contrario, se recurre a la aplicación de un protector, conocido como fijativo. Sin embargo, si se decide aplicar estos fijativos se deberá tener presente que pueden causar diversos efectos secundarios, los cuales deberán conocerse previamente para poder actuar en consecuencia o decantarse por un tipo u otro.

Estos efectos secundarios producen, esencialmente, un cambio en la textura de las ilustraciones de carbón, al pastel y similares, debido a que amalgaman los pigmentos; ocasionan brillos, desvirtúan la apariencia original y pueden provocar el vidriado de algún color. Asimismo, conforme pase el tiempo y tenga lugar el envejecimiento del fijativo, los documentos pueden sufrir amarilleamiento superficial a causa de la oxidación del protector. Por tanto, a mayor cantidad de producto fijativo aplicado, mayores serán las consecuencias; siendo lo más favorable la aplicación del mínimo necesario y eliminación tras haber cumplido su misión (Vergara, 2002).

Los fijativos deben cumplir una serie de características para resultar lo suficientemente ventajoso su utilización. Deberán ser eficaces antes los medios o procedimientos que van a ser aplicados al

documento, inocuos a la integridad del documento, ser reversibles en el medio para no dañar a la pieza y no verse afectados por cualquiera de los productos que intervengan en el proceso restaurador (Crespo & Viñas, 1985).

Cuando sea necesario mantener su acción protectora para procesos posteriores, es aconsejable no eliminar los fijativos, a pesar de los posibles efectos secundarios ya comentados anteriormente. Por ello, es obligatorio dejar constancia de su participación en el proceso restaurador ya que importante conocer su presencia para un futuro tratamiento (García, 2019).

Los fijativos realizan una actuación mecánica, ya que actúan como elemento cubriente o como nuevo aglutinante de las tintas. Además, los protectores podrán ser utilizados de manera local o como una capa completa en toda la superficie, pudiendo aplicarse mediante pulverización e impregnación con pincel o similar (Crespo & Viñas, 1985).

En lo referente a su concentración, existe una amplia variedad y puede llegar a resultar complicado determinar una concentración específica, ya que depende de la porosidad que albergue el soporte y de la intensidad adherente que se desea, así como del medio usado para su aplicación. Los fijativos utilizados más habitualmente, junto con sus disolventes, son: gelatina de laboratorio (tipo B), gelatina de laboratorio (3%) endurecida con formol(1,5%), acetato de celulosa diluido en acetona, paraloid, naylon soluble diluido en alcohol caliente, mowilith diluido en acetona, xileno o tolueno; fijativos comerciales (Fixir Spray, Taker, Krylon, Krilac o Regnal) y lápiz graso (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.5 Desinsectación, desinfección y esterilización

Tal y como se comentó en el punto 6.2.4 (*factores biológicos*), las especies bibliófagas suponen un peligroso factor degradatorio, siendo considerado uno de los más perjudiciales para el patrimonio documental, ya que los materiales utilizados como soportes de la escritura son del tipo orgánico (García, 2019).

Por ello, cada vez que un documento es aceptado en un laboratorio para su restauración, debe realizarse una desinfección y desinsectación para prevenir contagios de agentes bibliófagos a las demás obras, tengan o no alguna alteración.

En la actualidad, gracias a los diferentes estudios y avances a lo largo del tiempo, existe una amplia gama de productos que cubren desde la generalidad a la particularidad de estas especies biológicas. Estos medios y procedimientos pueden ser de carácter químico, físico o biológico (Muñoz, 2010).

7.2.5.1 Medios y procedimientos de carácter químico

Los productos de carácter químico son compuestos orgánicos, inorgánico o sintéticos cuya toxicidad tiene aplicación en el exterminio de las plagas bibliófagas (García, 2019). Entre ellos se encuentran una amplia gama de insecticidas, fungicidas, bactericidas y raticidas, según se busque eliminar insectos, hongos, bacterias o roedores, respectivamente. Además, pueden ser utilizados para la esterilización, lo cual sucede cuando la técnica seleccionada es mortal para todos los seres vivos. Estos métodos pueden ser clasificados por ingestión, contacto o inhalación.

Los venenos por contacto actúan sobre toda una comunidad, mientras que los venenos por ingestión o inhalación afectan de manera individual. Ya sea en uno u otro grupo, la acción del veneno puede ser inmediata o retardada, dependiendo de si afecta directamente a un órgano vital o provoca la coagulación y oxidación del protoplasma. Dependiendo del estado en el que se encuentren, sólido, líquido o gaseoso, las formas de aplicación más comunes son: sublimación, pulverización o fumigación.

Los sólidos en disolución o dispersión poseen un mayor tiempo de actividad, pero si capacidad exterminadora es menor que el resto. Los sólidos sublimables poseen una reducida capacidad de

penetración, por lo que actuarán más como ambientadores repelentes de poca eficacia letal a no ser que se apliquen en elevadas concentraciones. Por ello, su utilización suele ser mayormente como métodos preventivos.

En lo referente a los líquidos, cuando más eficaces resultan son cuando se encuentran aplicados por impregnación, por lo que serán muy adecuados para aplicarlos en el mobiliario para protegerlos del ataque de xilófagos. Estos compuestos suelen tener un aspecto graso debido a los disolventes usados y deben aplicarse con especial cuidado ya que pueden originar manchas en las obras. Los métodos de impregnación y pulverización son los más utilizados para su aplicación y entre los químicos (en sus respectivas disoluciones) más empleados se encuentran: formaldehído, pentaclorofenol sal sódica, fenol, paraclorometacresol y paradiclorobenceno.

Los gaseosos o fumigantes se caracterizan por albergar una elevada eficacia, a pesar de que su permanencia en el ambiente es muy reducida. A causa de su corta duración, se recomienda aplicarlos junto con alguno de los dos tipos anteriores (sólido o líquido) o llevar a cabo una segunda fumigación en un periodo de 15 o 20 días, con el objetivo de asegurarse que los bibliófagos nacidos de las larvas o huevos que no murieron en la primera dosificación lo hagan ahora. En el caso de las especies también sean xilófagas, se aconseja el uso de gas y líquido para así lograr una actuación íntegra.

Los fumigantes más habituales son el óxido de etileno y el bromuro de metilo, donde el primero se caracteriza por ser un insecticida, fungicida, bactericida y esterilizante en diversas ocasiones; mientras que el bromuro de metilo es un insecticida. Para la aplicación de los mismos en su estado puro es preciso el uso de cámaras de vacío o sobrepresión, principalmente para el óxido de etilo que tiene un alto poder explosivo al combinarse con el aire ambiente. Como ambas sustancias son muy tóxicas, es indispensable tomar las medidas pertinentes de seguridad individual (mascarillas, vestimenta especial, etc.).

No obstante, existe una mezcla comercializada de óxido de etileno puede combinarse con el anhídrido carbónico o de freón y puede utilizarse en recipientes o en habitaciones que dispongan de cierre hermético o que puedan ser precintados, aunque su peligrosidad es mucho menor que cuando se utiliza el producto puro. Pese a ello, durante la fumigación hay que quitar todos los dispositivos que puedan provocar una chispa o fuego. Tras la fumigación, la habitación o recinto donde se aplicó y deberá realizarse la ventilación de los documentos previo a su uso nuevamente.

Es importante recalcar, que todos los productos utilizados presentan una elevada toxicidad, en especial los gaseosos como ya se ha mencionado, por lo que su aplicación de estos procedimientos tiene que realizarse siempre por personal especializado. Asimismo, será necesario aplicar también tras la fumigación métodos preventivos para evitar el resurgir los bibliófagos, puesto que éstos solo actúan de manera puntual o momentánea.

7.2.5.2 Medios y procedimientos de carácter físico

Constituyen un ampliado y variado grupo de métodos no letales que utilizan medios distorsionantes como el frío, el calor, la vibración o la luz.

Entre ellos destacan dos sistemas cuya característica más notoria es su alta eficacia mortífera, la cual se ve desequilibrada por el posible daño que pudieran provocar a la celulosa que conforma al soporte, por lo que no son del todo aconsejables. Estos medios son (Crespo & Viñas, 1985):

- **Radiaciones:** los rayos gamma y X poseen una capacidad de penetración capaz de eliminar numerosos microorganismos.
- **Descargas eléctricas:** son de alta frecuencia y tienen poder desinsectante y desinfectante.

7.2.5.3 Medios y procedimientos biológicos

Existen diversas especies no bibliófagas que dañan y pueden llegar a alimentarse de especies bibliófagas. Tal es el caso de los arácnidos u hormigas que acometen contra el pececillo de plata, avispas que atacan contra cucarachas y varios anóbidos a ciertos hongos (Crespo & Viñas, 1985).

No obstante, tras la eliminación de la plaga bibliófaga será obligatorio exterminar esas otras especies, siendo más un paso más sencillo ya que el ambiente de los archivos no es el más adecuado para estos insectos. A pesar de todo, estos medios están todavía en fase de experimentación (Orozco, 2019).

7.2.6 Limpieza

La limpieza contempla toda actividad que busque eliminar toda la suciedad o aditamentos que estropean o modifican el aspecto o integridad original del documento. Durante décadas ha sido el procedimiento restaurativo más ejecutado, debido a la gran interés que siempre se ha tenido para mantener y recuperar la estética particular de la obra. Prueba de este interés es la gran variedad de métodos, productos y recetas de limpiezas que han ido desarrollándose a lo largo del tiempo. Todas ellas se pueden agrupar en cuatro apartados: limpieza mecánica, aplicación de disolventes, lavado y blanqueo.

La selección del método escogido, así como de los agentes más adecuados a la relación operativa del proceso de limpieza, depende del grado y extensión de la suciedad y manchas en la pieza. Este ensuciamiento, con origen muy variado, puede catalogarse como partículas sólidas superficiales, sustancias grasas, suspensiones y disoluciones acuosas, oxidación del papel o pigmentaciones microbiológicas (Muñoz, 2010).

La identificación y distinción correcta de la naturaleza de estas manchas y suciedades es de vital importancia, ya que cada uno de ellos requerirá un tratamiento de limpieza particular y un error podría originar daños al documento por la aplicación de un tratamiento erróneo. El origen de las manchas en la obra viene ocasionado por diferentes causas (Crespo & Viñas, 1985):

- **Manchas ocasionadas por partículas sólidas:** se pueden identificar fácilmente porque suelen localizarse en la superficie del documento, denotándose únicamente por uno de sus caras. Pueden ser detectadas por el tacto o por algún método de abrasión suave (como es el caso de una goma de borrar). Para eliminar este tipo de manchas debe recurrirse a la limpieza mecánica, ya que otros tipos de tratamiento, como los acuosos o con otros compuestos líquidos, pueden provocar la introducción de las partículas en la propia estructura del papel y, con ello, dificultar su completa eliminación.
- **Manchas de grasa:** la principal característica de este tipo de manchas es su color marrón-pardo oscuro, así como su uniformidad, límites poco definidos y con una forma que tiende a ser redondeada. Las manchas de grasas afectan a ambas caras de papel, siendo mayor su intensidad en aquella que donde impactó. Si no ha transcurrido mucho tiempo desde que se produjo su choque en el papel, la mancha podrá tratarse con un disolvente. Sin embargo, si pasa el tiempo, la grasa se oxida y se transforma en partículas sólidas insolubles y no dispersables en el producto que sí permitía su rápida eliminación. Si estas manchas resisten frente a los disolventes habituales, solo podrá realizarse su eliminación mediante blanqueo o “saponificación”.
- **Manchas por suspensiones acuosas:** en este grupo se encuentran englobadas aquellas manchas que proceden de tintas, repintes, tampones, humedad, etc. Dependiendo de su

origen, pueden darse dos circunstancias diferentes, donde el mejor tratamiento para ambas es el lavado:

- Manchas producidas por sustancias tintóreas que colorean el soporte: afectan solo a una cara del documento debido a que su propia densidad no favorece la absorción en la integridad del papel. Muestran límites muy definidos y al humedecerse existe la posibilidad que aparezca por la cara opuesta del papel, puesto que el agua actúa como disolvente y favorece la penetrabilidad del colorante.
 - Manchas producidas por agua: más conocidas como manchas de agua o humedad. Se caracterizan por ser el origen del ataque correspondiente a la trayectoria de penetración. Paulatinamente, el cerco se irá viendo intensificado y facilitando el paso del agua a causa de un área más limpia que la superficie no mojada. Este aspecto está motivado por el desplazamiento de las partículas de suciedad que, ya en superficie o en el interior del papel, son arrastradas por la penetración capilar del agua. La marca afectará a ambas caras del documento y su coloración dependerá de las partículas que se hayan ido acumulando.
-
- **Manchas por la oxidación**: este tipo de manchas provienen de elementos metálicos, ya sea de la propia celulosa o de otras sustancias orgánicas integradas en el papel, presentando un color pardo amarillento. En el caso de que estén presentes por todo el documento, su procedencia se encontrará en la acidez estructural del propio soporte. Por el contrario, si las manchas conforman un pequeño moteado en una zona determinada y con una mayor intensidad de color en el centro, se tratará de la oxidación de partículas metálicas. Estas manchas no son solubles en agua ni dispersables, por lo que para su eliminación el primer paso a llevar a cabo será menguar su intensidad superficial mediante tratamientos de limpieza mecánica, para luego realizar un blanqueamiento y así alcanzar la decoloración estimada.
 - **Manchas de pigmentaciones microbiológicas**: son debidas a la presencia de microorganismos y se diferencian del anterior en su aspecto aterciopelado. El color que muestren dependerá del tipo de hongo o bacteria que se encuentre presente en el soporte de papel. Tal y como ocurría con las manchas por oxidación, el primer paso para su eliminación consistirá en una limpieza mecánica, seguido de un blanqueo como segundo paso.

Por tanto, la limpieza de estas manchas y suciedad en general, se realizará mediante los cuatro tratamientos mencionados al comienzo de este punto, según el origen de la mancha (Asensi, 2014).

7.2.6.1 Limpieza mecánica

El objetivo principal de la limpieza mecánica es la eliminación de sustancias sólidas que han ido incorporadas a la superficie del soporte a lo largo del tiempo, realizándose siempre en seco y con diversos elementos específicos.

Entre las manchas más usuales de las que suele encargarse este tipo de limpieza son las originadas por el polvo, la contaminación atmosférica o por la propia desintegración de la pieza. Además, también tratarán las manchas producidas por rozaduras, por el propio uso o aquellas creadas por pigmentos sólidos que se mantienen superficialmente en el soporte (Crespo & Viñas, 1985).

Al ser un proceso realizado directamente en la superficie afectada de la pieza, debe de extremarse el cuidado de la operación. Además, se tratará de evitar dañar, en la medida de lo posible, la grafía o las zonas cubiertas por este tipo de suciedad, ya que actúa mediante elementos más o menos abrasivos, y se requerirá la protección del resto de la obra durante la actividad de limpieza (Vergara, 2002).

Asimismo, debe llevarse a cabo siempre que posteriormente vaya a ejecutarse un tratamiento líquido, ya que si no las partículas sólidas podrían quedarse incrustadas en el documento y provocando que su eliminación sea mucho más compleja.

Entre los medios y procedimiento más habituales en la limpieza mecánica se encuentran los dos siguientes (Crespo & Viñas, 1985):

- **Cámaras, vitrinas o mesa de limpieza:** permite realizar el trabajo en una zona completamente reservada para ello, facilitando la recogida de todos los elementos que van a ser extraídos conforme se vaya desarrollando el tratamiento, anulándolos antes de que vuelvan a incorporarse al documento o evitando que contaminen el área de trabajo; ya sea mediante una cámara, vitrina o una mesa con dispositivo de succión o un sistema extractor que recoja las partículas desprendidas.

En el caso de disponer de una cámara o vitrina, el control de la succión se ejecuta tanto por el fondo como por los laterales o el techo. Mientras que en el caso de la mesa con succión complementaria, la absorción deberá realizarse de manera frontal para evitar que la succión directa cause la incrustación de la suciedad en la cara opuesta del papel.

Los medios de succión más comunes para eliminar partículas son (Crespo & Viñas, 1985):

- Un aspirador: focalizados para aquellas obras que puedan aguantar esta fuerza de aspiración o con la adición de una rejilla de nylon o metálica en el caso de documentos debilitados levemente.
 - Impulsión: se recurre a aire a presión, siendo ideal para piezas con una elevada consistencia o para encuadernaciones. Se realizará siempre con un extractor.
 - Brochas y cepillos: sistema adecuado para la limpieza de polvo. Se emplean distintos tipos de brochas con diferentes grosores y durezas.
- **Métodos abrasivos:** estos muestran las mejores técnicas para lograr eliminar la suciedad superficial. Entre sus herramientas destacan (Crespo & Viñas, 1985):
 - Gomas de borrar en pastilla, barra, granulado o en polvo: no deben presentar características grasas y tampoco pueden manchar el documento ya que sería contraproducente. Aquellas manchas causadas por coloraciones sólidas pueden eliminarse, en la mayoría de los casos, mediante una mezcla de gomas blandas y duras afines a la sensibilidad de la obra. En el caso de las gomas en polvo, éstas resultan de gran utilidad, puesto que abarcan un amplio campo de aplicación. Las gomas en polvo vienen en sacos pequeños, permitiendo que las partículas traspasen el saquito y queden retenidas en él (actúan como un filtro). Por otro lado, los gránulos de goma van ensuciándose conforme se utilizan, aunque pueden limpiarse fácilmente mediante ligeros golpes. Si la obra a tratar se caracteriza por ser de gran tamaño, se recomienda emplear máquinas de borrar o un torno de borrar, los cuales incluyen un motor y una goma cilíndrica que gira.
 - Cepillos de fibra de vidrio o de nylon: albergan una capacidad de abrasión elevada y resultan muy efectivos para la limpieza de conglomerados en superficie y actúan

como una lija suave.

- Polvo de greda o similar: son partículas de muy reducido tamaño y de tacto suave. Utilizadas para manchas superficiales semiduras. Tiene un poder de abrasión muy bajo, por lo que resulta fácil su control de agresión a la obra.
- Cintas autoadhesivas y gomas absorbentes: se usan directamente en la superficie de la obra, consiguiendo llevarse consigo las partículas depositadas en la misma.
- Raspadores y lijas: se utilizan para manchas producidas por aglomerantes sólidos. La mancha es raspada o cortada mediante el empleo de un bisturí o una cuchilla, teniendo siempre presente que no provoque un mayor deterioro al documento.

7.2.6.2 Limpieza con disolventes no acuosos

Este tipo de limpieza se utiliza exclusivamente para la remoción de aquellas manchas ocasionadas por sustancias no acuosas, las cuales suelen ser muy habituales en el papel y su eliminación sólo es posible mediante la utilización de diversos disolventes y cuya acción se denomina *limpieza en seco*. Esta designación se debe a que a la gran volatilidad que presenta el disolvente, lo que facilita que el secado sea rápido y, por ello, en algunos casos deberá ser controlado para prevenir un exceso de deshidratación en el papel.

Sin embargo, este tipo de disolventes tienen algunas desventajas como es su toxicidad, inflamabilidad, ciertas incompatibilidades, explosivos, etc. Por ello, la manipulación de los mismos precisa del uso de cámaras o vitrinas de gases.

La aplicación de los disolventes puede realizarse mediante baños o de forma local, mediante apósitos de algodón o papel absorbente, pinceles o pasta de papel, entre otros. Por lo general, primero se aplica un tratamiento local y, posteriormente, se completa con un baño. Su rendimiento de limpieza se verá incrementado si se trabaja a una temperatura superior a la ambiental, pero habrá que tener especial cuidado debido a posibles riesgos de ignición o, incluso, explosión.

Los disolventes más comunes empleados, así como su aplicación más frecuente son: metanol, etanol o acetona para manchas de barniz, agua y amoníaco para manchas de barro; cloroformo, diclorometano, acetona, alcohol o nafta para cinta autoadhesiva y el tricloroetileno, percloroetileno, esencia de tementina o tetraclorometano para la eliminación de manchas de grasa.

7.2.6.3 Lavado

La mayoría de las manchas que menoscaban a los documentos patrimoniales tiene su origen en disoluciones acuosas o de elementos en suspensión. Su eliminación y tratamiento solo es factible mediante baños con mayor o menor presencia de agua a fin de volverlas a dispersar o disolver.

Este proceso suele ser el más destacado, siempre y cuando se tomen las medidas oportunas de seguridad, ya que existe el riesgo de que el papel se debilite o que las tintas se diluyan durante el tratamiento. No obstante, está demostrado que una vez que el papel se ha secado tras el tratamiento, tanto sus propiedades físicas como su aspecto mejora, así como su consistencia, puesto que se potencia la unión química interfibrilar y se eliminan residuos o elementos de relleno que minimizan dicha unión (Crespo & Viñas, 1985).

Ahora bien, no todas las aguas resultan ser apropiadas para el lavado, siendo las más aconsejables las aguas duras con predominio de calcio y que no contenga de hierro, cobre y cloro, circunstancia que

actúa como regulador del pH. Por otro lado, no se recomienda el uso de agua destilada ni la desionizada, debido a que sustraen los iones presentes en el papel o las tintas para recuperar los que les fueron eliminados en su obtención, lo cual conlleva al debilitamiento del documento (Asensi, 2014).

Los tratamientos acuosos tendrán una duración acorde a la calidad de la obra y de la temperatura del baño; por lo que un soporte de papel que presente una calidad normal puede permanecer estable en un prolongado baño de agua a baja temperatura. Asimismo, será necesario tener en cuenta la consistencia de las tintas ya pueden experimentar leves desprendimientos o disolución. La estabilidad de ambos elementos documentales será menor cuanto mayor sea la temperatura del agua, debido a que tendrá lugar el reblandecimiento de los aglutinantes y mermará la unión química interfibrilar.

Por ello, no suele aconsejarse trabajar a temperaturas menores de 15°C ni superiores a 40°C. La temperatura ideal de trabajo es la del medio ambiente, por lo que para prevenir fluctuaciones de este parámetro a lo largo del tratamiento se recomienda el uso de baños que dispongan de termostatos, así como un sistema de renovación de agua, lo cual resulta muy funcional para el tratamiento de aclarado intensivo o de enjuague.

La acción lavadora del agua puede verse intensificada mediante el empleo de detergentes, agentes coloidales o enzimas (Crespo & Viñas, 1985):

- **Detergentes:** reducen la tensión superficial del agua, lo que favorece la humectación y la supresión de grasas y aceites. En el caso de que la suciedad de un documento provenga de la contaminación atmosférica, las partículas de la misma suelen estar contenidas en una capa de grasa, por lo que para su remoción será preciso la acción de un tensioactivo que elimine dicha capa y que deje la partícula aparte para su posterior dispersión o diluida. Asimismo, los detergentes aportan a las partículas una mezcla hidrófuga envolvente, la cual impide que se agrupen y facilita su limpieza y arrastre final. Sin embargo, los detergentes tienen como desventaja la presencia de sales alcalinas de los ácidos grasos, los cuales pueden deteriorar a la celulosa del papel. Por lo tanto, solo es posible emplear los detergentes denominados neutros, ya que resultan ser inocuos y poco dañinos para la obra. A pesar de ello, el documento tiene que ser enjuagado con abundante agua limpia una vez terminado el lavado con detergente para así remover los restos del mismo.
- **Agentes coloidales:** se caracterizan por retener las partículas de suciedad desprendidas de la mancha durante el baño, impidiendo que la suciedad vuelva a penetrar en el documento. Estos agentes coloidales pueden encontrarse incluso en diversas composiciones de ciertos detergentes.
- **Enzimas:** son producidas por seres vivos y se encargan de acelerar las reacciones químicas. Tienen como función el reblandecimiento de los adhesivos de origen natural, por lo que serán empleadas en la separación de las hojas que están pegadas entre sí y en la eliminación de las manchas causadas por esos adhesivos (como las colas o engrudos). Las enzimas pueden aplicarse de forma local, con pinceles y brochas, o de manera general mediante baños. Su utilización tiene que hacerse de forma rápida y a elevadas temperaturas, trasladándose después a un baño frío con renovación continua de agua. La efectividad de las enzimas será mayor cuando el pH tienda a ser más alcalino.

7.2.6.4 Blanqueamiento

Diversas manchas presentes en el documento tienden a adquirir una serie de peculiaridades que las vuelven inmunes a los tratamientos de limpieza mecánica, de lavado o de aplicación de disolventes; dando lugar a que dichos sistemas sean incapaces de dispersar o diluir las partículas o sustancias que

acentúan y alteran el color original del papel (García, 2019).

Por lo tanto, la única alternativa viable para el tratamiento de ese tipo de manchas será el proceso de blanqueo. Dicho proceso químico se basa en la eliminación del color de las manchas o del amarilleo de los documentos patrimoniales, decolorando los elementos que conforman la mancha, mediante la pérdida paulatina del color, hasta alcanzar el blanco estimado (Crespo & Viñas, 1985).

Es decir, el blanqueamiento se trata más bien de un procedimiento estético más que un tratamiento de limpieza, ya que la sustancia que origina la mancha o amarilleo a tratar no será eliminada del soporte de papel en su totalidad (Orozco, 2019).

No obstante, a pesar de tener como finalidad la salvaguarda del aspecto de la obra, el blanqueamiento puede producir ciertos efectos negativos, como es el caso de la pérdida de consistencia de los papeles blanqueados; llegando a provocar incluso una rápida desintegración en casos extremos. La degradación originada en la propia celulosa del papel se debe principalmente a la capacidad decolorante de los blanqueadores, ya que está directamente relacionado con su facultad oxidativa. Es decir, el proceso químico se basa en la acción oxidante sobre la materia que recibe el tratamiento. La oxidación da lugar a que las cadenas moleculares de la celulosa se rompan y que se dé, por tanto, una disminución de la cohesión del papel (Vergara, 2002).

Asimismo, al producirse la oxidación de la celulosa, ello desencadena la decoloración por amarilleamiento y conduce a un proceso de acidificación, el cual implica la ruptura de la estructura molecular de la celulosa con la correspondiente degradación de la consistencia del papel, tal y como se ha mencionado en el párrafo anterior (Bazemore, 2016).

A pesar de las repercusiones negativas que este tratamiento puede dar lugar, hay situaciones en las que el valor estético es de vital importancia, por lo que el blanqueo es indispensable. Sin embargo, si se toma la decisión de aplicar dicho tratamiento, será necesario adoptar las medidas pertinentes para conseguir controlar y disminuir estos problemas.

En general, el blanqueamiento se suele aplicar en cámaras especiales, efectuándose por baño (sistema más efectivo), por pulverización (poco recomendable) y por aplicación local con pincel, apósitos de algodón o pasta formada al mezclar un agente coloidal con el blanqueador. En el caso de que el tratamiento se realice por baños, se aconseja que las concentraciones del producto sean bajas, con una duración de inmersión corta y una continua renovación. En cambio, en el caso de los tratamientos locales, es preferible que las concentraciones a utilizar sean elevadas (García, 2019).

Aparte de estos métodos, se han llevado a cabo diversos estudios sobre la aplicación de radiaciones lumínicas como agente blanqueante. Sin embargo, su utilización perjudica más que beneficia puesto que conlleva una serie de daños y problemas específicos como la lentitud de ejecución y el amarilleo que provoca en los papeles de pasta de madera; además de una degradación de las tintas que pudieran estar presentes en la obra, las cuales resultan ser en la mayoría de los casos muy sensible al factor lumínico.

Previo a la aplicación del agente blanqueador, es necesario que el documento sea lavado y desacidificado para así prevenir el exceso de acidez de la disolución. Esto resulta indispensable para el uso de sustancias cloradas, ya que en un medio ácido su acción degradante se intensifica, por lo que es recomendable que se tenga una reserva alcalina (de 8 a 10 pH). Dicha reserva se logra mediante la adición de sustancias alcalinas en el proceso, como es el caso del hidróxido de calcio.

Tras la ejecución del blanqueamiento, el documento ha de ser enjuagado de nuevo para remover los efectos negativos del agente blanqueador. Si, además, se ha utilizado un producto clorado, deberá llevarse a cabo una neutralización del mismo a través del uso de un anticloro. Posteriormente, se enjuaga de nuevo la pieza patrimonial y se mide el pH, para saber si sería necesaria la aplicación de un agente desacidificador y así la obra dispondrá de una oportuna reserva alcalina.

Los productos más frecuentes que actúan como blanqueadores pueden ser el hipoclorito, siendo los más típicos el de calcio y el de sodio; la cloramina T y cloramina B, clorito sódico, bióxido de cloro en forma de disolución; bióxido de cloro en forma de gas, permanganato potásico, ácido cloroso, peróxido de hidrógeno, etc. (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.7 Desacidificación

La desacidificación posee una gran relevancia para la restauración y conservación del papel, aun cuando sus resultados no sean apreciables a simple vista. Su propósito de actuación radica en la eliminación de la acidez en los documentos patrimoniales, la cual es motivada por los factores extrínsecos e intrínsecos de variado origen. Es decir, la desacidificación se encarga de eliminar la causa del deterioro pero no de tratar la degradación ya producida, así como el amarillamiento del papel o el incremento de fragilidad del mismo (García, 2019).

La acidez incorpora una serie de elementos químicos que originan la ruptura los enlaces moleculares, dando lugar al desequilibrio de la estructura de la celulosa y propiciando una autodegradación paulatina, la cual culminan en una desintegración total de la obra. Es uno de los factores de alteración más perjudiciales debido a que repercute severamente en las propiedades físico-mecánicas del papel, manifestándose de forma visible por el tono amarillento que adquiere la obra; además de una fragilidad en incremento, convirtiéndolo en un material sumamente quebradizo, de un manejo inviable a causa de su elevada fragilidad (Bazemore, 2016).

Tal y como se ha indicado anteriormente, la desacidificación no se encarga de reparar ninguno de los efectos mencionados, sino que se ocupa de eliminar la causa originaria: la acidez. Asimismo, solo en situaciones muy concretas, tiene lugar el proceso contrario, es decir, donde se produce un exceso de alcalinidad. Este fenómeno resulta ser tan dañino con la propia acidez, pero tiene suele tener una menor probabilidad de ocurrencia y es fácilmente anulado por acidulación mediante baño (García, 2019).

De cualquier forma, el pH deberá estar estabilizado entre 7 y 8, siendo más aconsejable el primer valor en aquellos casos en los que exista una fuerte acidez (menor que 5); ya que, si un papel es muy ácido y se trata de situar en un pH muy alcalino, aparecerá como efecto secundario una coloración parda o marrón nada deseable (Crespo & Viñas, 1985).

La desacidificación puede ejecutarse mediante disolución o sustancias tampón. El primer tipo posee un limitado poder de actuación, puesto que únicamente es válido frente a ácidos solubles y no proporciona ninguna estabilidad para prevenir la formación de nuevos ácidos, ni siquiera a corto plazo. Por lo tanto, su actividad será muy reducida y su aplicación no tiene garantías fidedignas (García, 2019).

Por otro lado, las soluciones tampón se encargan de convertir químicamente la acidez en elementos inocuos y, al mismo tiempo, desarrollar una carga antiácida (conocida como reserva alcalina) que imposibilita la formación de nuevos ácidos en las condiciones propicias de generación (García, 2019). Por ello, debido a su acción química, las soluciones tampón forman parte del grupo de los neutralizadores o neutralizantes. No obstante, debido a su tan específica actuación, resulta más adecuado denominarlas como desacidificadores o deacidificadores (Crespo & Viñas, 1985).

Los desacidificadores, de acuerdo a su estado gaseoso o líquido, podrán clasificarse en dos grupos (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.7.1 Desacidificación con medios gaseosos

Los desacidificadores gaseosos permiten realizar el tratamiento en masa sin necesidad de desmontar la obra e, incluso, desplazar del lugar del depósito la documentación a tratar. No obstante, este grupo todavía no ha logrado alcanzar el rendimiento necesario para un tratamiento y permanencia apropiados, originando varios inconvenientes técnicos y económicos.

Entre los compuestos más destacados se encuentran:

- **Amoníaco en forma de vapor:** para la aplicación de este método, se coloca un recipiente con amoníaco en la base de la cámara donde vaya a realizarse el tratamiento, mientras que

en las bandejas o estantes superiores se sitúan los documentos. Gracias a esta disposición, los vapores liberados ascienden y penetran en la documentación, originando su alcalinidad. El tiempo de exposición de los documentos frente a los vapores de amoníaco tiene una duración de 12-48 horas y a temperatura ambiente. Tiene como principal inconveniente la posterior inestabilidad del tratamiento, pues el sulfato amónico formado vuelve a liberarse en amoníaco y el efecto alcalinizante desaparece, resurgiendo de nuevo la acidez original.

- **Morfolina y vapor de agua:** la morfolina es una amina alcalina que es capaz de hinchar ligeramente a la celulosa, lo cual favorece su penetración en las fibras. A causa de esto, tiene una acción mucho más amplia que otros agentes que solo actúan en la superficie del papel (como ocurre con la ciclohexilamina). El tratamiento debe realizarse en cámaras a vacío y con una duración entorno a los 10 minutos. Tras ello, será necesario introducir aire para la ventilación de la cámara y recoger el gas por el sumidero para así impedir que los malos olores de la morfolina y su toxicidad salgan al exterior del equipo.
- **Ciclohexilamina (CHC):** es una sal amina, que al sublimarse su carbonato se proporciona el gas alcalino desacidificador, cuya volatilidad se ve incrementada con un aumento de temperatura. Su penetrabilidad en el papel es reducida por lo que toda la superficie del documento tiene que quedar expuesta al gas para favorecer al proceso. La utilización de este compuesto para el tratamiento de material documental no suele ser aconsejable, ya que presenta un olor desagradable, es tóxico, produce el amarillamiento del papel y reduce su consistencia.
- **Vapor de dietil de zinc:** para su utilización se requiere una cámara de vacío, debido a que es un líquido muy reactivo, explosivo e irritante. Su aplicación se recomienda para tratamientos en masa, aunque su coste sea elevado. Asimismo, el tratamiento contempla una duración de 3 a 8 días y se precisan de 1,3-1,8 kg de dietil de zinc por cada 45 kg de papel en condiciones secas.

Adicionalmente, existen otros desacidificadores de uso limitado o que muestran una eficiencia discutible. Entre ellos destacan: disoluciones acuosas de pirofosfato sódico, fosfatos y boratos utilizados para neutralizar partículas de hierro en el papel, sulfato de magnesio, bicarbonato e hidróxido de estroncio, acetato potásico, diglicolamina, etc.

7.2.7.2 Desacidificación con medios líquidos

Los desacidificadores líquidos muestran una adecuada permanencia, además de una verificada eficacia. Este grupo puede subdividirse en dos categorías diferentes, de acuerdo a su capacidad de dilución en agua o en un disolvente orgánico que posea el agente desacidificador: acuosos y no acuosos. Este tipo de desacidificación será mucho más recomendable que el grupo anterior, ya que hay un mayor conocimiento y control de los mismos.

Los desacidificadores más comunes serán:

- **Acuosos:** los agentes desacidificadores acuosos más conocidos son:
 - Agua: se caracteriza por disolver bien ácidos solubles como el poliglucurónico (compuesto formado por la degradación fotoquímica de la celulosa) u otras sustancias como los sulfatos, los cuales tienen la capacidad de formar ácidos. La principal desventaja de este desacidificador es que no tienen poder tampón y tampoco proporcionan una reserva alcalina.

- Carbonato cálcico y magnésico: estos compuestos en su estado sólido natural no son solubles en agua y, aunque se añadan en forma de polvo finísimo, no tienen la capacidad de penetrar en el soporte de papel y no podrán actuar como agentes de desacidificación. Por lo tanto, es necesario convertirlo en bicarbonatos para facilitar la solubilidad en agua y se absorban en el papel; transformándose posteriormente en carbonatos de nuevo y quedando atrapados en el documento para actuar como reserva alcalina. De los dos, el más utilizado es el carbonato de calcio, aunque ambos pueden emplearse de manera simultánea en diversas ocasiones.
- Carbonato sódico y potásico: estos dos carbonatos son solubles en agua directamente. Sin embargo, no se aconseja su aplicación debido a tienen una elevada basicidad, por lo que pueden dar lugar a la degradación de la celulosa.
- Hidróxido cálcico y magnésico: estos hidróxidos se transforman en carbonatos cuando reaccionan con el CO₂ presente en la atmósfera. Por lo tanto, el hidróxido, que es soluble en agua, al integrarse en el papel tras el correspondiente baño reacciona con el dióxido de carbono ambiental y se transforma en carbonato, el cual es un agente estabilizador gracias a la reserva alcalina que proporciona. El más efectivo es el hidróxido de calcio y, de entre todos los desacidificadores acuosos, resulta ser el más beneficioso puesto que da buenos resultados, su preparación es sencilla y es de bajo coste.
- Hidróxido sódico y potásico: son compuestos muy alcalinos, sobre todo el primero, por lo que no suele recomendarse su utilización a causa del riesgo por degradación del documento.
- Tetraborato sódico: comúnmente conocido como Bórax. Este compuesto se transforma en ácido bórico e hidróxido sódico, actuando como desacidificador. Tiene un poder fungicida adecuado para su aplicación, aunque el hidróxido de calcio sigue dando mejores resultados.
- **No acuosos**: dentro de este grupo se contemplan:
 - Hidróxido bórico: es el más empleado gracias a buena eficacia, su bajo coste, su facilidad para disolverse en metanol, así como su sencilla preparación. Se caracteriza por actuar de forma similar al hidróxido de calcio y magnesio, convirtiéndose en carbonato bórico.
 - Acetato cálcico, bórico y magnésico: estos compuestos requieren ser diluidos en agua previamente para después poder disolverse en alcohol etílico o metílico, convirtiendo los acetatos en carbonatos. El acetato bórico no tiene ventajas frente al cálcico, pero el acetato magnésico posee la capacidad de degradarse más que el resto.
 - Metóxido de magnésión: es un alcoholato, generado a partir de la reacción de los alcoholes con ciertos metales, los cuales al reaccionar con el agua producen la formación de hidróxidos. Tras la adición del metóxido en el papel, éste se convertirá en carbonato. El documento tiene que estar seco mientras se realice el tratamiento, ya que el agua puede causar una precipitación apresurada y ocasionar que no sea efectivo el procedimiento.
 - Carbonato de metilmagnesio: proviene de la carbonatación de un preparado de metóxido de magnesio, albergando una mayor estabilidad en el agua que el anterior compuesto. Por ello, será más efectivo y tendrá mejores condiciones de aplicación. Una vez que el metanol se evapora, el carbonato quedará integrado en el

documento en forma sólida.

7.2.8 Consolidación

La consolidación se lleva a cabo cuando es necesario restablecer la consistencia que el papel ha perdido con el paso del tiempo. Sin esta cohesión, los documentos adquieren una indeseada fragilidad, la cual conlleva que la conservación de los mismos se vea amenazada, provocando la imposibilidad de manejarlo fácilmente debido a la inconsistencia del soporte, que puede desembocar en riesgos de rotura y desintegración (García, 2019).

Para este tratamiento se utilizan los denominados consolidantes, sustancias que tienen como cometido mantener unidas las fibras y otros elementos estructurales del papel empleando su capacidad adherente, al mismo tiempo que protege y actúa como agente curativo de daños (Crespo & Viñas, 1985).

La adherencia que muestran los consolidantes se manifiesta, tanto por separado como conjuntamente, mediante procesos químicos o físico-mecánicos, teniendo siempre presente la consistencia total del papel depende de la misma (Muñoz, 2010).

7.2.8.1 Proceso químico: agua

En un primer momento, la utilización de agua como consolidante del papel puede resultar un tanto sorprendente, puesto que su presencia en condiciones desventajosas puede dañar considerablemente a la obra. No obstante, a pesar de que en un sentido estricto no pueda ser tenida en cuenta como tal, sí satisface la función esencial de adherir, puesto que fomenta la unión de las fibras; dando incluso lugar a que la consistencia de los documentos más antiguos dependa en su mayoría del grado de humedad que contengan (García, 2019).

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, cuando tiene lugar una elevada deshidratación del papel a causa de elevadas temperaturas, acidez u otros factores dañinos, puede transformarse en un material de extrema fragilidad. Además, está comprobado que aquellos documentos sometidos a un baño acuoso recuperan su flexibilidad y consistencia. No obstante, deberá tenerse presente que un exceso de humectación puede originar el debilitamiento del papel, hasta el punto de su desintegración por desfibración (García, 2019).

Por ello, teniendo en cuenta esta coyuntura, es evidente que tanto un exceso como un defecto de agua pueden generar circunstancias desfavorables para la conservación del documento patrimonial. Sin embargo, en ciertos casos específicos la consistencia y flexibilidad proporcionados por el agua es equiparable a un incremento de las características de resistencia físico-mecánicas del papel y, por tanto, debe incluirse entre los diferentes agentes de consolidación (Vergara, 2002).

Dicha mejora está basada, principalmente, en la particularidad que alberga el agua en impulsar la unión natural de las fibras de celulosa que conforman al papel. Es decir, el agua se encarga de actuar como un agente activador de la adherencia interfibrilar de los soportes celulósicos (García, 2019).

Por lo tanto, el grado de adhesión se encuentra sometida a la interposición de las moléculas de agua que estén unidas a los átomos de oxígeno e hidrógeno que estén presentes en las moléculas de celulosa. Por lo general, dicha unión tendrá una intensidad débil en un principio, pero se verá reforzada a medida que se vayan perdiendo estas moléculas de agua y queden unidas solamente las moléculas de celulosa entre sí de forma directa (Bazemore, 2016).

Debido a ello, el papel más antiguo, al tener una mayor riqueza en celulosa, no precisaba del empleo de ningún encolante de acción mecánica, ya que su consistencia y cohesión dependía puramente de dicha unión química (es decir, de los puentes de hidrógeno), viéndose además reforzada por el propio entrelazamiento de las fibras, lo cual facilita y favorece los puntos de contacto entre las moléculas de celulosa (García, 2019).

Por otro lado, en los papeles más modernos no sucede lo mismo, puesto que se caracterizan por tener una cantidad y calidad celulósica mucho menor. A causa de esto, la unión química por puentes de hidrógeno es menos efectiva y, en consecuencia, requiere de la utilización de encolantes. Dichas sustancias tendrán una doble función: por un lado, se encargarán de potenciar la unión química entre las fibras celulósicas y, por otro lado, se harán cargo de aglutinar los agentes de relleno, los cuales son responsables de la concreta calidad de los papeles actuales (Crespo & Viñas, 1985).

En definitiva, la resistencia, flexibilidad y consistencia de los documentos de manera general, y más concretamente los de mayor antigüedad, están relacionadas directamente con los puentes de hidrógenos con los que se produce la unión química entre las fibras de celulosa y, por otra parte, el grado de humedad contenido en los mismos influirá en mayor o menor medida en dichas particularidades.

7.2.8.2 Proceso físico-mecánico: adhesivos

La consolidación mediante procedimiento físico-mecánico se lleva a cabo cuando es necesaria la aplicación de un nuevo encolado o apresto con el objetivo de subsanar la pérdida del adhesivo que consolidaba previamente su estructura. De acuerdo al estado del documento, el tratamiento consolidante podrá realizarse de una forma más o menos intensa, empleando brochas para el caso de una simple impregnación o utilizando baños para un reapresto total (Crespo & Viñas, 1985).

La aplicación de un encolante podrá realizarse en toda la superficie del documento, cuando ésta se encuentre totalmente afectada por la misma alteración, o parcialmente en una región específica del papel. Para ambas situaciones, existen una gran variedad de adhesivos, eligiéndose el encolante en función de las características que precise poseer para una actuación restauradora concreta (García, 2019).

Dichos adhesivos son los utilizados normalmente en restauración como fijativos o para unir cortes, pero es un estado mucho más diluido que en esos casos. El empleo del adhesivo como del consolidante, fijativo o pegamento depende del mayor o menor grado de concentración que se tenga correspondiente disolución. Esto es, si la concentración de un determinado producto adhesivo es baja este actuará como un consolidante, en el caso de que la concentración se intermedia se obtendrá un fijativo y, por último, si la concentración es alta podrá aplicarse como pegamento (García, 2019). De entre todos, los adhesivos más recomendables son los derivados celulósicos semisintéticos, como es el caso de la metil celulosa (Orozco, 2019).

Como se ha comentado anteriormente, la consolidación puede realizarse de forma total o parcial. En este último caso, lo más habitual es que la aplicación se ejecute con brochas; mientras que para una consolidación total lo más recomendable es sumergir al documento en baños preparados con la disolución del encolante elegido. La selección del mismo va a depender de las características de restauración que precise cada obra, por lo que es necesario un adecuado conocimiento de sus particularidades. Los adhesivos pueden clasificarse en naturales y sintéticos (Bazemore, 2016):

- **Adhesivos naturales**

Este tipo de adhesivo puede ser de origen vegetal o animal y se caracterizan por funcionar como un excelente alimento para insectos y microorganismos, por lo que su aplicación puede conllevar riesgos de actividades dañinas por parte de esos organismos bibliófagos.

Presentan una baja estabilidad y sus propiedades físicas y mecánicas merman conforme incrementa la temperatura o humedad. Con el aumento de temperatura, el papel se deshidrata y pierde su flexibilidad, desembocando en una fractura de su estructura y que el adhesivo se transforme en una sustancia granulada que va desprendiéndose del papel poco a poco.

Igualmente, cuando se produce un exceso de humedad tiene lugar un reblandecimiento de los adhesivos, desembocando incluso en su disolución total. A causa de ello, el adhesivo pierde su capacidad adherente y se originan manchas en el papel (Muñoz, 2010). Para

evitarlo, es importante incorporar durante su etapa de preparación agentes antisépticos (formol, pentaclorofenol, etc.), suavizantes (melaza) y humectantes (glicerina, glicoles) (Crespo & Viñas, 1985).

Entre los adhesivos de origen animal destacan la gelatina y la cola de pescado, así como la caseína y la albúmina, aunque estas últimas serán menos utilizadas.

En cuanto a los adhesivos de origen vegetal, los más usuales son los almidones de arroz y de trigo y la goma arábiga. Adicionalmente, también se utilizan, pero con menor frecuencia, los almidones de patata, maíz y centeno, así como las gomas de cerezo, guindo, ciruelo, albaricoque y tragacanto.

Asimismo, entre los adhesivos de mayor interés destacan los derivados celulósicos de naturaleza semisintética, los cuales presentan unas mejores características que los almidones y se encuentran provistos de muy buenas cualidades de estabilidad y aplicación. Los más utilizados en la restauración son la metilcelulosa, la carboximetilcelulosa, hidroetilcelulosa, hidroximetilcelulosa y la hidroxipropilcelulosa. Todos ellos son solubles en agua, no obstante, algunos de ellos pueden disolverse también en disolventes orgánicos y, por tanto, presentan una gran versatilidad (Crespo & Viñas, 1985).

- **Adhesivos sintéticos**

En este grupo, existen dos tipos de adhesivos: los termoestables y los termoplásticos. El primer conjunto se caracteriza porque tras endurecerse no pueden recobrar su forma original, es decir, son irreversibles al calor. Por otro lado, los adhesivos termoplásticos pueden recuperar su forma original por la acción de la temperatura o por aplicación de su correspondiente disolvente.

A causa de las características indicadas de los termoestables, dichos adhesivos no serán, por tanto, recomendables en el ámbito de la restauración, aplicándolo únicamente en casos concretos de encuadernación o sigilografía. Igualmente, los adhesivos termoplásticos son cada vez más empleados en la restauración y pueden encontrarse en forma sólida, en solución con disolventes orgánicos o en dispersiones acuosas (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.9 Reparación de cortes y desgarros

Los cortes y desgarros son dos de las alteraciones más típicas en los documentos patrimoniales. Su arreglo consiste en regresar a su sitio las partes afectadas, de una manera cohesiva y resistente. Para dicha reparación se utiliza un adhesivo para adherir las roturas, valiéndose de las pestañas que forma el propio desgarrado. Es decir, se emplea el adhesivo más adecuado en aquellas fibras que quedaron libres, siendo imprescindible poner especial atención y cuidado al superponer las superficies desgarradas. En el caso de que el documento dañado no presenta estas hebras libres, existe la posibilidad de reforzar la zona dañada con papel tisú transparente o con un papel de mayor grosor, dependiendo del soporte tratado, mediante su superposición de los mismos para unir las partes separadas.

En búsqueda de que la reparación de los cortes y desgarros sea lo más correcta posible, se suele trabajar sobre una mesa de cristal con iluminación en la zona inferior, conocida como negatoscopio. Gracias a ello, podrá observarse con claridad si los bordes de la rotura se encuentran en la posición adecuada para su unión o, por el contrario, no están bien superpuestos o están muy separados sin ser perceptible sin una buena iluminación.

Asimismo, como alternativa de reparación también puede aplicarse sobre la línea fracturada una fina capa de adhesivo, siendo posteriormente recubierto por un trozo de papel tisú y dejarlo secar en prensa, logrando así una regularidad y alisado uniforme en la superficie tratada. Tras ello, el papel tisú es humedecido con cuidado, reblandeciéndolo para poder retirarlo sin dificultad. Finalmente, los

bordes se repasan con un bisturí o una lija suave para conseguir un acabo fino en la zona reparada (Pascual, 2005).

Otro procedimiento de reparación consiste en el uso de las fibras obtenidas al desfibrar papeles de fibra larga. Dicho proceso se basa en la preparación de una pasta con esas fibras y el adhesivo seleccionado para cada caso particular (gelatina, metil celulosa ...). Después la pasta es aplicada sobre la rotura, intentando que la disposición de las nuevas fibras ejerza la mayor resistencia en la medida de lo posible (Asensi, 2014).

En el caso de que el documento a restaurar sea muy grueso, el papel tisú no es suficiente para el arreglo, debido a que la fisura seguirá tendiendo a abrirse. Por ello, se aconseja reducir los bordes del corte hasta que quede en V, insertando el refuerzo de papel en forma de cuña (papel cartulina del mismo grosor). Tras el acoplado el refuerzo, se pegan los materiales, aplicando presión durante el secado y suprimiendo los elementos sobresalientes empleando un bisturí o una lija suave.

Por último, es muy frecuente que en la mayoría de este tipo de reparaciones la línea de rotura muestre un oscurecimiento, incluso habiendo logrado una unión perfecta entre los lados pertinentes. Esto se debe a la suciedad que ha ido acumulándose en los bordes a lo largo del tiempo, la cual suele eliminarse mediante cepillos o gomas de borrar, sin dar lugar que la degradación sea mayor. Asimismo, el adhesivo también es causante de la coloración de la unión. Para reducir dicha coloración puede realizarse un ligero blanqueo, sin embargo, no es aconsejable porque no da buenos resultados.

7.2.10 Reintegración del soporte

Los documentos patrimoniales en numerosas ocasiones presentan una serie de daños superficiales originados por diversos agentes externos, como es la acción de agentes bibliófagos, por razones de utilización por parte del hombre, incendios, etc. Como resultado de dicha incidencia, la documentación albergará orificios, rotos, cercenamientos... los cuales afectarán directamente a la consistencia del soporte de papel y a la grafía del mismo.

Por tanto, la reintegración del soporte se basa en la reposición de las regiones o lagunas perdidas del documento con fragmentos de otro papel, denominado injerto, el cual será ajustado lo más eficientemente posible y con unas características afines al soporte al que se añade.

La reposición del papel puede llevarse a cabo mediante dos procedimientos diferentes: reintegración manual o mecánica (Pascual, 2005).

7.2.10.1 Reintegración manual

La reintegración de carácter manual se basa en la inserción de injertos utilizando materiales similares al documento original; de esta forma, los fragmentos insertados actuarán del mismo modo que el propio papel frente a tensiones aplicadas en los mismo e impidiendo que se produzcan irregularidades.

Por ello, será necesario poner especial cuidado en el uso de un injerto más o menos fuerte que el documento, ya que si el papel seleccionado resulta ser más fuerte que el original, éste padecerá una deformación en toda su superficie; mientras que si es más débil ocurrirá lo contrario. En consecuencia, se deberá tratar de encontrar un correcto equilibrio entre ambos con el objetivo de prevenir tensiones indeseadas provocadas por contracción o dilatación de las fibras (García, 2019).

La selección del papel a añadir a la obra dependerá, en gran medida, de las cualidades que dicho papel posea, como son la textura, el color o el grosor, así como su calidad estructural. Asimismo, el material escogido tendrá que presentar la misma dirección en sus fibras que el documento, puesto que, en caso contrario, los movimientos naturales por diferencia de tensiones se darán en sentido opuesto y producirán las inoportunas irregularidades.

Para ejecutar el ajuste de los injertos se recurre al uso de las pestañas. Estos elementos se obtienen mediante distintos métodos, según la experiencia y conocimientos del restaurador o de la metodología acostumbrada por el taller. Tras elaborar las pestañas, el fragmento a injertar suele hacerse mediante calco en el papel seleccionado, ya sea empleando una estilográfica rellena de agua, con un punzón o similar (Orozco, 2019).

En consonancia con lo anterior, la reintegración manual puede llevarse a cabo de formas muy variada, como es el injerto con alfiler o injerto por hendidura. Igualmente, otras opciones son el injerto con bisel a bisturí, injerto con pincel, el cual consiste en la adhesión de un fragmento de papel en los bordes de la región perdida directamente y eliminando después el papel sobrante; injerto tipo laminación y el hecho con pasta de papel, en el que se rellena los orificios o las pequeñas lagunas con pasta de papel (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.10.2 Reintegración mecánica

Debido a la considerable cantidad de documentación patrimonial que requiere una reintegración de sus áreas perdidas, así como de la lentitud y laboriosidad que esta operación manual supone, se ha visto impulsado el desarrollo y optimización de este proceso mecanizado, basándose en los métodos de fabricación del papel más primigenios (García, 2019).

Gracias a este procedimiento, los resultados obtenidos son bastante favorables en lo referente al perfeccionamiento y rapidez con que se consigue reintegrar de forma simultánea todos los orificios o regiones perdidas de un documento en un período de tiempo relativamente corto (sin llegar a superar a lo sumo los tres minutos), en comparación con los dilatados intervalos que las técnicas previas requerían. Dicha actuación se conoce con el nombre de *left casting* y se lleva a cabo en máquinas de diseño especial para tal actividad (Crespo & Viñas, 1985).

A grandes rasgos, la reintegración mecánica consiste en el establecimiento del documento en una rejilla, la cual actúa como formadora de hojas, y, posteriormente, hacer pasar a través de ella la dispersión acuosa de la pulpa de papel fabricada con el mismo volumen que el del material que se ha de reponer en aquellas zonas perdidas. La canalización del agua con las fibras dispersas se canaliza por los orificios y al salir de ellos, las fibras quedarán retenidas por un filtro situado entre el documento y la rejilla, acumulándose y rellenando las lagunas mientras se evacúa totalmente el agua (García, 2019).

Además, este método también es apropiado para la unión de grietas, en el caso de que no exista la posibilidad de emplear una gran pestaña, realizándose desfibrándose los bordes para así favorecer la fijación de las fibras (Orozco, 2019).

Para la ejecución del paso del agua por la rejilla existen diversas formas, siendo la primera opción el método de caída libre. Sin embargo, esta opción daría lugar a deposiciones de fibras en regiones que no tenían por qué ser integradas. Por tanto, para prevenir dicho problema, se emplean bombas para generar una fuerza de succión, con sistema Vinyector, o bien por absorción mediante el sistema Venturi; siendo el más recomendable el primero de los dos debido a que las fibras se depositan únicamente en las áreas que contengan orificios y, además, permite la reutilización del agua (Orozco, 2019). Por tanto, el mecanismo será bastante sencillo, puesto que la propia velocidad de succión impide que la pulpa se decante sobre todo el papel. Este tipo de decantación existirá solamente cuando la velocidad de salida sea lenta o cuando se produzca un exceso en la dosificación de la pulpa. Esta situación se tratará de ejecutar intencionalmente cuando se desee realizar un recubrimiento, a modo de laminación, en el reverso de documentos muy debilitados (Crespo & Viñas, 1985).



Figura 45. Reintegradora de papel ubicada en taller de Patrimonio Documental del IAPH (García, 2019)

Tras la deposición de la pulpa sobre las perforaciones, se lleva a cabo la aplicación de presión a la hoja para conseguir enrasar las fibras. Después de la etapa de secado, las fibras quedan unidas al documento mediante la unión química interfibrilar (puentes de hidrógeno) o, de otro modo, mediante la ayuda de agentes encolantes, aunque éstos no suelen ser muy necesarios en la mayoría de los casos y pueden afectar de forma negativa al funcionamiento de la máquina reintegradora.

Finalmente, los tipos de pulpa utilizados tienen que tener una correcta correspondencia con el papel a injertar, tanto en el color, como en el grado de refinado y, concretamente, en su calidad (Crespo & Viñas, 1985). Por lo tanto, para conseguir que la unión química sea óptima, las fibras deberán tener un grado de refinado entorno al 25-30°SR y un desfibrado de 2-3 mm. Además, se requerirá una presión lo suficientemente buena para que se formen los puentes de hidrógeno (generalmente, 5 kg/cm²), siendo ejercida típicamente por una prensa, a ser posible hidráulica (Orozco, 2019).

7.2.11 Reintegración de elementos sustentados

El imperativo fundamental que se exige en cualquier proceso de reintegración de grafías y elementos sustentados es respetar en su totalidad la integridad documental, especialmente en el caso de los materiales manuscritos, debido a su individualidad. Por lo tanto, se descarta rotundamente todo intento de reconstrucción de textos perdidos o incompletos, desprovistos de información contrastada (García, 2019).

Si existe la posibilidad de disponer de una copia por fotografía, facsímil o una precisa descripción de la grafía perdida, pueden darse diferentes alternativas (Crespo & Viñas, 1985):

- Reconstruir lo más semejante posible la forma de la obra original, pero no su integridad material, lo cual supone arreglarla mediante medios y procedimientos diferentes a los originales. Es vital que tanto la tinta, como el color y el instrumento sean distinguibles fácilmente de la obra genuina. Además, las regiones perdidas son restituidas de tal forma que pueden diferenciarse a simple vista. También será importante hacer constar la fuente informativa empleada para la documentación de la reconstrucción.
- Otra alternativa para dar a conocer el contenido original de la obra se basa en anexas una hoja con las mismas dimensiones pero con una calidad diferente y fabricada en la época actual. En ella se reconstruirá solamente el texto o grafía extraviada, emulando escrupulosamente su estilo, técnica y color.
- Elaborar una réplica de la fuente informativa tenida en cuenta e incluirla en el apéndice final del documento.

7.2.11.1 Texto empaldecido

Bajo ningún concepto deberá repasarse el color perdido del texto de la obra para reforzar su cromatismo, puesto que la operación podría dar lugar a daños irreparables. Por ese motivo, se considera más propicio favorecer su visión, en el momento de su lectura, empleando radiaciones ultravioletas, las cuales permiten visibilizar aquellos trazos imperceptibles ante una iluminación normal (García, 2019).

Otra opción factible sería la obtención de fotografías, mediante el uso de una película especial para este tipo de iluminación. Al ser esta alternativa una posibilidad muy común, y para proteger el documento de posibles daños causados por cualquier tipo de radiación, suele aconsejarse el empleo de dichas fotografías o de fascímeles, ya que ambas preservan la integridad del documento original (García, 2019).

Igualmente, existen diversos reactivos químicos que permiten intensificar los textos empaldecidos. Normalmente, dichos reactivos actúan impulsando la oxidación de las partículas existente, consiguiendo con ello que se potencie el cromatismo de los elementos gráficos. Por ello, a mayor cantidad de restos oxidables en la obra, mayor será el efecto logrado. No obstante, este procedimiento tiene como inconveniente el tiempo reducido de su actividad y cuando finaliza tiene lugar la extinción permanente de los restos, puesto que la misma oxidación precipita su pronta destrucción. Por tanto, este tipo de reactivos no serán recomendables, salvo en el caso de que su utilización sea temporal y se realice su eliminación posterior sin originar efectos secundarios (algo que es poco probable). Si no hubiera más opción que tener que aplicarlos, deberá llevarse a cabo un riguroso control, anticipándose rápidamente a cualquier tipo de degradación de tintas y soporte (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.11.2 Reintegración de grabados y dibujos

Los criterios requeridos en este procedimiento son mucho menos estrictos en favor de una estética que no se encuentra presente en la parte escrita del documento. En tanto que en los documentos escritos impera el valor textual, en los de arte prima la armonización del conjunto, la cual podría verse afectada si las regiones perdidas permanecen desligadas del equilibrio artístico y cromático de la obra (García, 2019).

En consecuencia, en aquellos documentos donde prevalezca más la belleza que la información de sus textos es evidente que el procedimiento de reconstrucción se encargue de dar respuesta a dicho requisito (García, 2019).

Entre las técnicas de reintegración de la grafía más desarrollados, se encuentran (Crespo & Viñas, 1985):

- **Reintegración integral:** aplicada normalmente siempre y cuando la tinta utilizada no sea la misma y que en el reverso del papel-injerto puede apreciarse su condición no original a causa de una calidad distinta del soporte propio de la obra.
- **Reintegración con punteado:** se basa en la reconstrucción de la imagen a partir de un tipo particular de punteado, el cual se ajusta correctamente a la armonía de la obra. Se caracteriza por ser un procedimiento sencillo y que permite obtener unos resultados adecuados, no solamente en el caso de que la obra original esté elaborada con esta técnica, sino también otras con una técnica muy similar.
- **Reintegración con rayado:** conlleva una mayor dificultad técnica que el grupo anterior. Comprende la realización de un rayado paralelo uniforme y regular con los tonos más acordes y que, de acuerdo a la longitud y grosor del trazado y superposición, se logra un

acabado favorable sin llegar a desvirtuar el efecto visual de la obra. El rayado debe ser ejecutado siempre en dirección vertical, ya que de esa manera el rayado no afectará al equilibrio del conjunto.

En definitiva, la reintegración, ya sea de la grafía como del soporte, nunca debe mostrar una tonalidad tal que la haga destacar notoriamente sobre toda la pieza, puesto que destacaría en demasía y mermaría el valor del conjunto. Generalmente, la zona reintegrada debe presentar la intensidad cromática 2/3 por debajo de la original, es decir, deberán emplearse tonos suaves y de sapercibidos para contribuir a la armonía de la obra.

7.2.12 Secado y alisado

Cuando un documento es tratado mediante un tratamiento húmedo, es imprescindible llevar a cabo un secado y alisado del mismo. En un primer momento, cabría pensar que ambas operaciones son en apariencia sencillas, no obstante, dicha simplicidad es lo más alejado de la realidad puesto que las dificultades se inician cuando se aspira, como es lo más evidente, a tratar de lograr un acabado perfecto (García, 2019).

Durante el tratamiento, el papel se moja y sufre un incremento en el volumen de sus fibras y de otras sustancias higroscópicas presentes en su estructura. Esto da lugar a una distensión fibrilar de la celulosa y de las cargas de relleno, desembocando en una deformación del documento. Dichos daños, pueden ser reparados mediante el secado y alisado de la obra (García, 2019).

En transcurso del secado, el documento, en un principio, volvería a recuperar sus dimensiones originales. No obstante, al secarse el papel, éste no es capaz de recuperar su volumen original a causa del mal acomodamiento en espacios diferentes de las fibras y demás elementos distorsionados una vez que el agua se abandona al documento. Esta circunstancia origina deformaciones y un posible alabeamiento, los cuales pueden ser subsanados mediante la operación de alisado (García, 2019).

Por tanto, para evitar drásticas deformaciones y combaduras la eliminación del agua y el alisado deberán ser realizados de forma lenta. Con ello se conseguirá que las fibras puedan acomodarse libremente, sin ninguna presión que obstaculice su recuperación. Si la presión realizada sobre el documento para alisarlo es muy alta, a pesar de que las fibras han perdido el agua, el tamaño de la hoja será mayor y se producirán irregularidades (Crespo & Viñas, 1985).

Con el fin de recuperar las dimensiones originales del documento, si bien no es posible que las posiciones coincidan justamente con las primitivas, el secado debe desarrollarse lentamente para que las fibras se posicionen libremente sin ningún tipo de presión que obstaculice su reintegro. El secado más recomendable es por escurrimiento, para posteriormente aplicarse un planchado a temperatura ambiente o moderada, bajo una prensa o tablero a una presión mínima (Orozco, 2019).

Dicho prensado tiene que hacerse según la consistencia del documento, para así evitar posibles alteraciones en la misma. Este procedimiento se lleva a cabo superponiendo un soporte con diversas características de rugosidad y satinado. En el caso de que el documento contenga marcas, éste deberá ser protegido utilizando una plantilla de cartulina o por secantes en el anverso y reverso de la hoja (Orozco, 2019).

Los procesos de secado y alisado pueden desarrollarse tanto de forma natural como con otros procedimientos, ya sean complementarios o no (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.12.1 Secado-alisado natural

El secado natural se inicia con el oreo. El documento tras salir del baño se coloca sobre una

superficie lisa para así no imposibilitar la contracción al evaporarse el agua y, además, permanece en esa posición hasta que se alcance un grado de humedad muy próximo al de secado definitivo.

El secado por oreo debe realizarse de manera paulatina, sin ningún tipo de aceleración mediante el uso de focos caloríficos ni corrientes irregulares de aire. Por ello, se aconseja que el documento sea introducido en una cámara o en una habitación que disponga de unas condiciones ambientales estables, las cuales permitan ejecutar el descenso gradual de la humedad del papel. Asimismo, debe controlarse que el proceso se lleve a cabo una velocidad tal que no resulte demasiado lenta tampoco, ya que si el documento se encuentra contaminado por microorganismos ello propiciaría la proliferación de los mismos.

Una vez finalizado el oreo, el papel ha recuperado lo mayormente posible sus dimensiones y se debe disponer entre dos soportes protectores que sean permeables y flexibles, con el objetivo de realizar un ligero alisado mientras se termina de secar totalmente. Estos soportes deben tener un aspecto lo más similar posible al del documento, debido a que transfieren parte de su propia textura a éste.

Sobre el conjunto conformado por el documento y los dos soportes protectores se aplica una presión homogénea a toda la superficie sin llegar a ser excesiva. Entre las mejores opciones para ejecutar dicho prensado homogéneo se encuentran las prensas manuales, las cuales pueden controlarse fácilmente y su manejo es sencillo.



Figura 46. Prensa de papel ubicada en taller de Patrimonio Documental del IAPH (García, 2019)

El riesgo por deformación se ve incrementado cuanto mayor sea la presión de alisado, así como el grado de humedad y, además, el tiempo utilizado para el secado total, ya que si éste se reduce también se favorecerá el peligro de daño por distorsiones. Por tanto, el secado y alisado debe realizarse de forma lenta y controlando la posible existencia de microorganismos, la disolución de las tintas, alabeamiento y otras irregularidades superficiales.

Cuando se produce un daño al documento por inundación, es decir, se encuentran completamente empapados, el proceso de secado debe efectuarse de tal forma que genera la menor deformación posible a la obra. En cualquier caso, la mejor alternativa de tratamiento para esta situación, así como para evitar largas esperas si la obra es un libro, es la liofilización o desecación por vacío. Asimismo, también por congelación o mediante el oreo en aireación natural. No obstante, si se busca controlar de manera rigurosa la proliferación de microorganismos, resulta más aconsejable esta última opción, o también el oreo en aireación forzada, con temperaturas inferiores a los 25°C. Tras conseguir un secado homogéneo, los libros cerrados padecerán un ligero aplastamiento para lograr su alisado.

En el caso de que tanto el tipo de papel como de tinta lo permitan, una opción para favorecer el secado de los documentos resulta a través del uso de herramientas higroscópicas que absorban el

agua, o bien mediante humedeciéndolos con soluciones volátiles (baño de alcohol), lo cual acelerará el secado por el arrastre del agua durante la evaporación.

7.2.12.2 Otros procedimientos de secado-alisado

Además del secado por oreo y del alisado mediante aplicación de presión homogénea, existen otras técnicas. Dichas modalidades pueden emplearse de forma complementaria al anterior grupo o bien individualmente. Se dividen en dos tipos: procedimientos de carácter manual y procedimientos de carácter mecánico.

Entre las técnicas de secado-alisado de carácter manual se encuentran las siguientes (Crespo & Viñas, 1985):

- **Láminas absorbentes:** durante la fase de secado-alisado final, colocar el documento entre láminas absorbentes, del tipo secante o papel filtro.
- **Soportes permeables-flexibles:** la utilización de estos soportes, tipo Reemay, son ideales para efectuar el secado ya que tienen buenas propiedades de transpiración. Esta opción suele ser la más aconsejable y es la que más se emplea en los talleres.
- **Tendido en cuerdas:** esta técnica solo se recomienda para aquellos casos en los que el documento presente una elevada resistencia, puesto que ocasiona riesgo de desgarros.
- **Carpetas de rejillas:** resultan muy funcionales para contener y manejar el documento durante el baño y dejarlas durante el secado. Es necesario escogerlas en metal inoxidable, de nylon o de un material similar para que no se produzca ningún tipo de daño en el documento.
- **Alisado entre tableros:** utilizado para documentos de grandes dimensiones.
- **Alisado bajo cristales:** muy práctico cuando se requiere supervisar continuamente al documento.
- **Baño en disolvente volátil:** recomendable para aquellos casos en los que se desea acelerar el secado natural.

Por otra parte, entre los procedimientos de carácter mecánico se engloban (Crespo & Viñas, 1985):

- **Prensas manuales o hidráulicas:** presentes siempre en todo laboratorio de restauración para aplicarlas en el alisado final de la obra.
- **Prensas termostalizadas:** recomendadas para aplicarlas en la última etapa del secado, siempre y cuando sea a baja temperatura y poca presión.
- **Mesa de succión:** es una buena elección siempre que el papel se ajuste bien a la contracción y la presión no sea excesiva, ya que si así fuera el caso el documento tendría las huellas señaladas del soporte en el que se apoya. Logra resultados muy favorables en aquellos documentos que ni pueden ser humedecidos o se resisten al alisado. Además, puede utilizarse también cuando se desea acortar los tiempos mediante el empleo de disolventes volátiles para superficies muy irregulares.
- **Cámara de vacío:** se emplea mucho para aquellos casos en los que se realiza un secado masivo, así como para el descongelado de documentos.
- **Horno de secado:** no suele emplearse mucho debido a que se precisa de un humedecimiento posterior tras el secado para poder ejecutar el alisado definitivo.
- **Centrifugado:** sistema fuera de uso por ser totalmente desaconsejable y contraproducente en el secado de documentos.
- **Radiaciones infrarrojas:** se emplean lámparas de luz incandescente que irradian sobre el

papel. Sin embargo, no es aconsejable su utilización puesto que trae consigo diversos inconvenientes, tanto para el papel como para las tintas.

- **Secado eléctrico:** la energía eléctrica es transformada en calor, de acuerdo con la cantidad de humedad presente en los papeles. Se obtiene un secado regular y uniforme en toda la superficie del documento.

7.2.13 Laminación

La laminación se encarga de subsanar la friabilidad de cualquier documento, encargándose de proporcionar la consistencia necesaria para su apropiado manejo y funcionalidad a través de la aplicación de una hoja de refuerzo.

El procedimiento de laminación puede tener lugar en una sola cara del papel o en ambas superficies. El recubrimiento deberá ser muy ligero, con una opacidad mínima a la vez que posea la mayor consistencia posible, como es el papel japonés (García, 2019). Asimismo, deberá tener un grosor mínimo y una transparencia lo más destacable posible, excepto en aquellos casos donde el reverso carezca de grafía, posibilitando entonces el uso de un refuerzo más opaco y firme (Orozco, 2019).

Este método restaurativo es, esencialmente, un procedimiento curativo y, por tanto, no puede ser utilizado de forma generalizada e indistintamente. Es decir, únicamente se recomienda cuando la documentación que, por ciertas causas determinadas (acidez, insectos, microorganismos, fuego, etc.) muestra un estado de conservación tan debilitado que no es posible asegurar su preservación, ni corregirlo por ninguno de los otros tratamientos de consolidación o reparación expuestos en este proyecto (García, 2019). Entre los efectos que pueden darse se encuentra la modificación de la superficie del papel, el incremento de grosor del soporte, reducción de la nitidez de la grafía y otras alteraciones de carácter intrínseco (Orozco, 2019). Por tanto, para su aplicación será esencial eliminar o anular cualquier efecto nocivo y causa intrínseca que aun permanezca activa.

Previo a la laminación, se tienen que suprimir todos los factores de deterioro que perjudiquen a la obra. Si no se ejecuta dicha labor, esos agentes dañinos quedarían incorporados a su estructura, llegando incluso a incrementarse sus efectos; por lo que el proceso restaurativo se convertiría en una labor inservible y contraproducente. Asimismo, si esto tuviera lugar, ocasionaría ejecutar la deslaminación, procedimiento que trae consigo grandes riesgos para la integridad original del material documental (Crespo & Viñas, 1985).

Por tanto, lo cabe la menor duda de que la acidez presente en los documentos patrimoniales debe ser suprimida. Por norma general, no puede laminarse ningún papel si no se encuentra carente de dicha causa degradatoria, por lo que la desacidificación obligatoria previo a realizar todo proceso de laminación (García, 2019). Tal es el caso de aquellos documentos que contengan tintas ferrogálicas, las cuales precisan de su neutralización para poder lograr una correcta y favorable restauración. Ello se expone con más detalle en el apartado 9.4 de este trabajo, donde se explica detenidamente todo el procedimiento, así como los materiales y compuestos más empleados en el ámbito restaurativo.

Los procedimientos de laminación podrán llevarse a cabo de forma manual o mecánica, los cuales se desarrollan a continuación (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.13.1 Tratamientos manuales

Para este procedimiento se necesita una superficie lisa e impermeable, en donde coloca un soporte flexible (como puede ser Reemay, teflón, polietileno, etc.) previo a la instalación del documento a tratar, el cual ha sido limpiado, neutralizado o desinfectado previamente. Una vez que se coloca la obra a laminar, y empleando un pulverizador o brocha suave, se humedece toda su superficie con el objeto de relajar o emblanecer las fibras del papel y facilitar la acción del adhesivo que se vaya a utilizar, así como para lograr la completa adaptación del documento al soporte. Gracias a ello, se

previene la formación de arrugas o la generación de posibles deformaciones que pueden causar las dilataciones posteriores (Crespo & Viñas, 1985).

Asimismo, la hoja de refuerzo seleccionada (papel, crepelina, tela ...) se coloca sobre otra superficie lisa y un soporte flexible, para posteriormente ser humedecido tal como el caso anterior.

Tras la instalación del documento y el refuerzo en sus respectivos soportes, se elimina el exceso de agua que puedan presentar, ya sea mediante el uso de secantes o papel absorbente. A continuación, se aplica el adhesivo con una brocha suave o rodillo hasta conseguir un reparto óptimo por toda la superficie, descartando en todo momento el uso en exceso del producto. El producto se aplica desde el centro del documento hacia los extremos, para así evitar la formación de pliegues y arrugas.

Luego, se superpone de forma invertida el soporte que aguanta al refuerzo respecto al documento, de tal forma que ante la existencia de direcciones predominantes de las fibras del mismo, se situará de manera cruzada con respeto a la obra, evitando así posibles tensiones o enrollamientos.

La primera toma de contacto entre el refuerzo y el documento se inicia en uno de los laterales, buscando su máxima coincidencia. A continuación, se va depositando el refuerzo hasta que el emparejamiento sea completo. Igualmente, existe la opción de superponer el refuerzo en forma de V, por lo que se inicia el contacto desde el centro de ambos elementos y se procede a su unión desde ahí hasta los laterales del documento.

Una vez lograda la superposición, se aplica sobre el soporte impermeable una ligera presión con un rodillo, desde el centro a los extremos del conjunto, eliminando de esta forma el adhesivo sobrante y las posibles burbujas que se ha podido originar durante el proceso de pegado.

Posteriormente, se recomienda separar el soporte del refuerzo, el cual ha quedado en la parte superior del conjunto. Gracias a los cortes que contienen las pestañas que sobresalen del refuerzo, se previene la generación de deformaciones durante el secado del documento. Asimismo, para facilitar el secado final del documento pueden tenerse en cuenta dos alternativas: en el caso de que haya restos de adhesivos, se recomienda superponer un soporte antiadherente transpirable, tipo Reemay; mientras que si no hay restos de adhesivo se puede colocar perfectamente un papel secante.

Finalmente, se ejecuta un planchado y secado final mediante la colocación del documento laminado entre papeles secantes e introducido en prensa, o también mediante la aplicación de presión a través de la colocación de tableros sobre el conjunto, siendo necesario renovar los secantes regularmente.

Generalmente, se usan para este procedimiento soportes permeables (Reemay), pero si por algún motivo se ha tenido que escoger los soportes impermeables (teflón o polietileno), éstos tendrán que ser reemplazados por los permeables para facilitar el secado definitivo. Además, este secado nunca debe ser acelerado por medio de planchas o por aplicación local de calor, ya que ello puede originar un secado irregular a causa del acomodamiento forzado de las fibras de la obra o del papel laminador, dando lugar a deformaciones nada recomendadas (Crespo & Viñas, 1985).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el procedimiento de laminación manual puede desarrollarse de numerosas formas, dando alternativas viables para todos los casos individuales y concretos. Tal es el caso de aplicar el refuerzo directamente sin ayuda de soportes, lo cual solamente viable cuando el refuerzo es poco tupido (tisú, crepelina, etc.) y la aplicación del adhesivo se ejecuta sobre éste. Dicho adhesivo deberá ser lo suficientemente líquido para poder traspasar el refuerzo y pegarlo al documento.

También, se tiene como opción la utilización de refuerzos que presenten un recubrimiento de adhesivo termoplástico o reactivable con disolvente. El refuerzo se solapa al documento y a través de la aplicación de calor con plancha y/o su correspondiente disolvente aplicado con brocha, se ablanda el adhesivo y provocando la adhesión de ambos elementos. Asimismo, se debe realizar una suave presión para facilitar dicha unión y favorecer la laminación. Los adhesivos más habituales para este método son el primal, Paraloid o similares (Orozco, 2019).

De igual forma, también puede realizarse todo el procedimiento en una mesa de succión. Éste equipo suele emplearse en casos en los que las obras estén muy degradadas o fragmentadas, debido a que el

documento queda alisado y fijado a la mesa por succión y así se previenen posibles problemas en la aplicación del adhesivo y del refuerzo. Del mismo modo, también es eficaz para laminaciones con aplicaciones de adhesivos termoplásticos locales en vez de completos, siendo el compuesto fundido mediante una espátula termostática que proporciona aire caliente (Crespo & Viñas, 1985).

Por último, es interesante destacar la alternativa de sustituir los adhesivos acuosos por adhesivos solubles en disolventes orgánicos, puesto que resultan una opción muy conveniente para aquellos casos en los que el documento o la grafía no pueden recibir tratamientos con agua. Para estas situaciones, el adhesivo más empleado es el acetato de celulosa en forma de película. El procedimiento consiste en la colocación de una película de adhesivo entre el documento y el papel de laminar y se lleva a cabo la aplicación de acetona con algodón presionando suavemente. El principal inconveniente de esta modalidad es la generación de cierto grado de rigidez a los documentos debido a la deshidratación, la cual es provocada por el disolvente (Crespo & Viñas, 1985).

7.2.13.2 Tratamientos mecánicos

Los tratamientos mecánicos de laminación precisan de la utilización de adhesivos termoplásticos, los cuales se unen se encargan de unir el refuerzo al documento a tratar mediante la aplicación de una temperatura capaz de fundirlos. Para ello, normalmente se usan máquinas laminadoras o prensas termostáticas. Ambos equipos disponen de rodillos y dos planchas termostáticas por electricidad que transmiten por presión el calor para reblandecer el adhesivo. Una vez enfriado, se endurece y quedan unidos el documento y el papel de refuerzo gracias a que la sustancia ligante penetra en las superficies de contacto cuando alcanza su estado de fusión. Por tanto, la máquina debe suministrar el calor y presión necesarios para garantizar la actividad efectiva del adhesivo al unir los elementos de contacto.

El procedimiento de laminación se basa en colocar en primer lugar un soporte flexible impermeable y de calidad termoestable (como es el teflón). Tras ello, se sitúa una hoja de papel de refuerzo al que se le coloca encima una película de adhesivo termoplástico. Arriba de dicha capa de adhesivo se posiciona al documento a tratar y, finalmente, si la laminación va a ser del tipo sencilla, se coloca otro soporte idéntico al de la base. Por el contrario, si la laminación va a ser del tipo doble, deberá disponerse sobre el documento otra lámina de adhesivo, así como la hoja de papel de laminar (Crespo & Viñas, 1985).

Todo el conjunto descrito es protegido con dos cartones semirrígidos y, a continuación, son introducidos en las planchas calientes del equipo en donde permanecerá bajo una ligera presión. La temperatura de operación y el tiempo de residencia (normalmente de 35 segundos aproximadamente) dependen de las características particulares de cada adhesivo.

Posteriormente, todo el montaje es sometido a un prensado mediante unos rodillos, asegurándose el alisado y regularidad del conjunto a la vez que se endurece el adhesivo a causa de la pérdida de calor.

El espesor de los adhesivos que se emplean en forma de película suele fluctuar entre los 0,025 y 0,05 mm. Tienen que poseer una transferencia óptima y no pueden requerir temperaturas muy elevadas, ya que podría dar lugar a daños en el papel. Asimismo, deben ser reversibles frente a algún disolvente inocuo para poder ser removidos si no se obtiene el resultado esperado. En la Tabla 1, se recogen los adhesivos más empleados en el campo de la restauración, así como su temperatura de operación y su disolvente correspondiente (Crespo & Viñas, 1985):

Tabla 1. *Adhesivos de laminación, Temperatura y disolventes*

Adhesivo	Temperatura (°C)	Disolvente
Polietileno	110	Tri-percloroetileno a 50°C.
Poliamida (nylon)	85	Alcohol en caliente
Acetato de celulosa	150	Acetona

Los adhesivos que se encuentran en forma de película pueden reemplazarse por otros compuestos con una calidad termoplástica similar (paraloid, primal, etc.), los cuales se aplican directamente sobre el papel de refuerzo a colocar. Gracias a esta variación, el papel de laminar se encuentra listo para ajustarse directamente al documento y desarrollar el ciclo descrito anteriormente, bajo una presión y temperatura determinadas (Crespo & Viñas, 1985). Ese tipo de elemento en particular se expone de una forma más específica y exclusiva para el tratamiento de documentos con tintas ferrogálicas en el apartado 9.5.2 de este proyecto, donde se utilizará papel japonés como refuerzo de laminación.

Cuando se realiza una laminación doble, ya sea a través de tratamientos manuales o mecánicos, es oportuno dejar en el contorno una pestaña o margen lateral de unos dos o cinco milímetros para así poder cerrar herméticamente todo el interior, tal y como se indicó en el apartado de tratamientos manuales. Gracias a este detalle, se elimina el riesgo de exfoliación del conjunto y de la posibilidad de penetración de microorganismos por la capa intermedia correspondiente al documento (Crespo & Viñas, 1985).

En el caso de la laminación doble, es muy importante tener en cuenta la dirección predominante de las fibras de los papeles de refuerzo. Han de colocarse de tal modo que se origine el cruzamiento de las fibras. En consecuencia, no se producirán tensiones ni desequilibrios entre las superficies del refuerzo y el documento, además de evitar la propensión al enroscado del conjunto.

En lo referente a la necesidad de ejecutar a la vez una laminación e injertar regiones perdidas del documento con un papel similar al mismo, se debe llevar a cabo un doble ciclo. Esto es, en la primera etapa se efectúa todo el procedimiento descrito para la laminación mecánica simple por la parte frontal del documento, pero agregando entre el reverso del mismo y el último soporte los trozos de papel injerto necesarios para colmar todos los orificios o áreas perdidas.

Debido a ello, cuando se procede a la primera laminación los injertos colocados se quedan unidos al papel tisú o teflón en toda la superficie del orificio gracias al adhesivo ubicado en la otra cara. De esta manera, el anverso del documento se encontrará reforzado por el papel laminador, mientras que el reverso estarán todos los fragmentos del papel injertado (Crespo & Viñas, 1985). Los bordes sobrantes de este último tienen que recortarse de acuerdo a la forma del orificio o de la zona perdida con un bisturí.

Tras este perfilamiento de dichos fragmentos, se prosigue con la segunda etapa del tratamiento, en la que se lleva a cabo una laminación de la superficie, repitiendo la operación de la laminación sencilla en la cara donde se encuentran todos los injertos. Por consiguiente, la obra queda completamente laminada por sus dos caras, además de contener sus respectivos injertos.

A pesar de que este sistema es bastante arduo, permite obtener unos resultados muy positivos, ya sea por una mejor consolidación del papel como por la estética del conjunto.

Por otra parte, las prensas termostáticas trabajan de una manera similar a las máquinas laminadoras, presentando como ventaja la capacidad de poder introducir varios documentos a la vez para su laminación en sus respectivos conjuntos de soportes y cartones semirrígidos, ubicándolos unos encima de otros. No obstante, esto puede representar un claro inconveniente, debido a que puede originarse irregularidades en la fusión del adhesivo a causa de las diferentes temperaturas y presiones que soportan según el lugar en el que se encuentre ubicado en la pila (Orozco, 2019).

Asimismo, existen sistemas más modernos que disponen de una cinta transportadora, en la cual se colocan los distintos conjuntos sin la protección de los cartones. La cinta transportadora se encarga de llevar a los elementos a una zona de proceso en donde la temperatura se regula mediante el control de aire caliente y se deja un tiempo determinado para que el adhesivo se reblandezca. Luego, el conjunto se prensa con ayuda de unos rodillos de caucho (Orozco, 2019).

Igualmente, existen casos en los que es factible realizar tratamientos acuosos y el documento puede ser injertado y consolidado mediante el método de reintegración mecánica comentado anteriormente para efectuar la laminación. En este caso, se dosifica en exceso la pulpa necesaria para las la gunas, de modo que la pulpa sobrante cubra al resto del documento por el reverso. Importante señalar que esta alternativa solo es viable cuando la obra no contenga ningún tipo de grafía en la parte posterior, ya que el refuerzo obtenido a través de la pulpa es opaco y, por tanto, no permitiría visualizar de nuevo la información que había en dicho texto (Orozco, 2019).

7.2.14 Encuadernación

En el caso de que se precise la restauración de libros antiguos, es indispensable realizar una clasificación de los mismos de acuerdo a la encuadernación que presenten (Crespo & Viñas, 1985):

- Aquellos que albergan un tipo de encuadernación irremplazable debido a sus valores documentales y/o artísticos.
- Los libros que no poseen ningún tipo de encuadernación debido a que la han perdido a lo largo del tiempo.
- Libros más contemporáneos que tienen una encuademación inservible, ya sea por la mala calidad de los materiales o por una manufactura deficiente.

En lo referente al primer grupo, ante la existencia el daño en encuademaciones antiguas o valiosas, es vital ejecutar sin falta el proceso restaurativo para poder devolverle su utilidad en las condiciones más óptimas y recuperar todos los elementos estructurales que lo caracterizan y lo hacen único frente al resto. Asimismo, también será necesario llevar a cabo el restablecimiento o reintegración de todas aquellas regiones y materiales que desaparecieron o carecen de función (García, 2019).

Todo ese procedimiento debe hacerse en conjunto con la doble faceta de desmontaje y montaje del libro. En la etapa de desmontaje, es obligatorio dispensar la máxima atención en el análisis de todos los elementos estructurales de la obra. Dicho análisis se orienta tanto hacia la materia como en la función que efectúa o debería realizar. Por tanto, será necesario llevar a cabo un seguimiento y registro de todas las piezas en orden a su identificación e identificación funcional. De igual forma, durante el proceso de montaje es esencial conseguir el máximo beneficio de los materiales originales, los cuales tras ser restaurados deberán incorporarse a la obra respetando su primitiva disposición (Crespo & Viñas, 1985).

En definitiva, a lo largo de todo el proceso restaurativo de encuademación es de vital importancia llevar a cabo un seguimiento informativo desde el desmontaje hasta el montaje de la vieja o nueva encuadernación, además de la descripción de la pieza original y justificación de la renovación ejecutada. Así se reducirán las probabilidades de cometer fallos en cuanto al montaje o cuidado de la pieza, disminuyendo al máximo los posibles peligros por una mala praxis (García, 2019).

En el caso de la obra no presente ningún tipo de encuadernación es necesario conocer el carácter del libro en cuestión, previo a cualquier tipo de operación. Cuando se trata de un libro moderno o de índole normalizada cuyo valor es su propio contenido gráfico, la encuadernación se desarrollará con la única finalidad de proteger y conservar la información para consulta y manejo. Por ello, la encuadernación será del tipo funcional, manteniendo siempre los principios básicos que orientan la conservación (Crespo & Viñas, 1985).

No obstante, la verdadera problemática en este segundo grupo se presenta cuando el libro a tratar sea antiguo y presente una singularidad o cualquier otro detalle destacable que haga indispensable

realizar una réplica de la encuadernación original. Para ello, deberá llevarse a cabo una profunda búsqueda de todos los elementos perdidos y de las técnicas utilizadas en la encuadernación, mediante fotografías, dibujos, descripciones u otro tipo de fuente informativa. No obstante, puede darse el caso de que no exista ninguna fuente de información acerca de la encuadernación original, por lo que la única opción será realizar un trabajo acorde al estilo de la época o de los caracteres del libro que expongan científicamente los detalles informativos sobre su aspecto original (Crespo & Viñas, 1985).

Por último, cuando la encuadernación no resulta útil, ya sea por defecto de los materiales o de la manufactura, la solución más sencilla y práctica es la elaboración de una sencilla encuadernación funcional, la cual se adapte al tipo de servicio que realice el libro, al carácter del mismo y de las exigencias de los usuarios. La resistencia e integridad de los materiales utilizados será el único imperativo para procedimiento específico de este grupo.

7.2.15 Montaje y encapsulado

Después de la restauración total del documento patrimonial, resulta esencial proveerlo de todos los medios necesarios para impedir o paliar los riesgos de deterioro asociados a los distintos factores que lo rodean.

Por tanto, la última medida indispensable para finalizar y completar el procedimiento restaurativo de una obra se basa en facilitar su manejo y prevenir cualquier tipo de riesgo amenaza dañina para la conservación y mantenimiento de la misma, con independencia de las condiciones del entorno.

Cuando se trata de documentos sueltos, la opción más acertada para su protección es el montaje en carpeta-paspartú o el encapsulado. Estas dos alternativas permiten una salvaguarda correcta para su utilización, transporte, exposición, almacenamiento, etc.; ya que actúan como estuches permanentes donde albergar la obra, resguardándolo de todos los agentes de agresión externa (Crespo & Viñas, 1985).

En relación con el montaje, éste consiste en la preparación de lo denominado carpeta-paspartú, la cual está compuesta por dos cartones de idéntica calidad y cuya naturaleza debe cumplir los siguientes requisitos (García, 2019)

- Ausencia de elementos o partículas metálico-oxidantes.
- Aspecto semisatinado.
- No exfoliable.
- Carente de acidez.
- Bajo índice de higroscopicidad.
- No exfoliable.

Un buen pronóstico a futuro se logra mediante la dotación de un microclima interno invariable en el montaje o, por lo menos, controlado, ya sea por vacío o sobrepresión, así como por la acción de agentes de deshumidificadores y antisépticos colocados en pequeños recipientes montados en el marco con acceso directo al interior.

Por otra parte, el encapsulado se considera una alternativa a la laminación, ya que ambas abordan un mismo objetivo: la protección de aquellos documentos que muestren una fragilidad significativa, actuar como medio protector durante los traslados o exposiciones y, en definitiva, para la conservación de obra planas y lisas.

El encapsulado implica el uso de un recubrimiento de carácter preventivo, donde se instala al documento en su interior sin la presencia de ningún adhesivo. Asimismo, el encapsulado previene la acción de los factores externos sobre la pieza y, por tanto, será indispensable que la obra se encuentre totalmente exenta de cualquier tipo de agente endógeno, impidiendo así que se produzca

un deterioro previsible por este motivo. Esto último, tal y como sucedía en la laminación, deberá ser realizado y comprobado antes de proceder con el encapsulado.

El procedimiento se basa en ubicar el documento patrimonial entre dos láminas transparentes, las cuales serán precintadas por cada uno de sus laterales. Es importante que las dimensiones de las láminas sobrepasen en exceso a las del documento, puesto que al estar ajustadas con las de éste se elimina la posibilidad de movimientos del mismo dentro del encapsulado elaborado (sobre todo porque no lleva ningún tipo de fijación), así como la generación de roces por vaivenes en el interior.

Para la ejecución del encapsulado de la pieza, se realizan los siguientes pasos (Orozco, 2019):

1. Selección del material a utilizar, el cual debe estar acorde con las características del documento presentando un grosor adecuado a éste.
2. Disponer al documento sobre la lámina del material escogido en el paso anterior y colocar una cinta adhesiva de doble cara alrededor de la obra, con un margen de ella de 3 a 5 milímetros. Además, deberá dejarse sin cinta un pequeño hueco en una esquina.
3. Instalar otra lámina sobre la primera y queda adherida mediante la cinta adhesiva, dejando el documento en medio de las dos.
4. Deslizar suavemente un rodillo sobre la cápsula fabricada con el propósito de eliminar el aire que haya podido quedarse retenido, el cual saldrá a través del hueco sin adhesivo que se hizo previamente.
5. Finalmente, se recorta todo el material de las láminas que quede afuera de la cinta adhesiva.

El material más empleado para construir las cápsulas suele ser el tereftalato de polietileno. Como se ha podido ver previamente, el cierre puede realizarse mediante cinta adhesiva; no obstante, también puede llevarse a cabo por calor. Para esta segunda opción, será necesario el uso de mesas de trabajo que dispongan de sistemas de termofusión para fundir el material adhesivo colocado, consiguiendo de esta forma un cierre con un mejor acabado y más hermético.

En la Figura 47 puede verse como quedaría un documento tras el encapsulado:

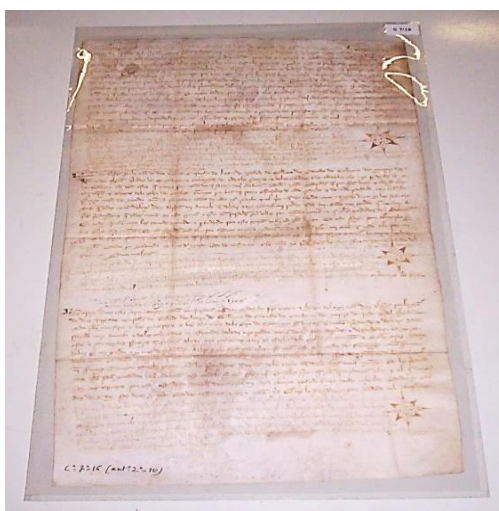


Figura 47. Documento encapsulado (Orozco, 2019)

Por último, el sistema de encapsulado también puede emplearse para la conservación de diversos libros que tengan un escaso uso. Sin embargo, esta aplicación tendrá como desventaja la necesidad de renovar su envoltura cada vez que deba ser consultada la obra.

8 DIAGNÓSTICO DE DOCUMENTOS

Tras examinar tanto la composición y elaboración de las tintas como las causas, mecanismos y efectos del deterioro en los documentos patrimoniales, es posible llevar a cabo la identificación de los principales riesgos para su conservación a medio y largo plazo, además de las diversas limitaciones y posibilidades que la etapa de estabilización en la restauración presenta.

A continuación, se expondrá toda la metodología de análisis de riesgos aplicada de forma específica en el diagnóstico de documentos con tintas ferrogálicas como material gráfico, así como los limitantes a tener en cuenta para los procedimientos de restauración.

8.1 Diagnóstico de documentos con tintas ferrogálicas

En los archivos e instituciones donde se preservan documentos históricos su objetivo principal es la conservación de dicho patrimonio documental. Por ello, es de vital importancia el desarrollo de metodologías que permitan priorizar las necesidades de las colecciones para cumplir con el objetivo a la vez que se emplean al máximo los recursos disponibles. Debido a ello, los especialistas en conservación y restauración se han decantado por un enfoque predictivo de análisis de riesgos para diagnosticar patrimonio documental, entre los que se encuentran los manuscritos con tintas ferrogálicas (Tse & Waller, 2008).

La principal ventaja de efectuar un modelo de diagnóstico en documentos con tintas ferrogálicas es conocer el estado actual en el que se encuentra el manuscrito. Asimismo, también permite identificar los potenciales riesgos que puedan tener lugar en el futuro, por lo que se consigue predecir y prevenir deterioros mayores a corto y largo plazo (Odor, 2013).

El uso de una metodología de análisis y manejo de riesgos tiene su origen y desarrollo principal en Canadá, de la mano de Tse y Waller, los cuales han propuesto un modelo de análisis de riesgos y de opciones de control de riesgos para tinta ferrogálicas sobre papel que a continuación se expone (Tse & Waller, 2008).

8.1.1 Desarrollo del modelo de análisis de riesgos para tintas ferrogálicas sobre papel

Para el desarrollo de este modelo de análisis de riesgos, los especialistas Tse y Waller tomaron como base los resultados de variadas investigaciones sobre deterioro y tratamientos de documentos con tintas ferrogálicas llevadas a cabo durante diversos años, en instituciones claves de países como Austria, Alemania, Holanda, Estados Unidos y Eslovenia; aunando clasificaciones e indicadores específicos.

8.1.1.1 Tabla de Clasificación de Condición

Los investigadores Reissland y Hoffenk de Graaff plantearon un esquema compuesto por cuatro etapas de degradación por corrosión de tinta. Con él se facilita el diagnóstico y estandarización de este tipo de deterioro específico (Reissland & Hoffenk de Graaff, 2000).





Debe recalarse, que dicha clasificación se basa en una evaluación puramente visual, por lo que no se ejecuta ninguna prueba en el soporte o en la tinta. Para realizar la catalogación se debe examinar el documento por el reverso, con luz natural y teniendo en cuenta las áreas más degradadas del mismo (Reissland, 2000).

Por tanto, se llega a la conclusión que esta clasificación ICN (siglas pertenecientes a *Amsterdam Instituut Collectie Nederland*) se basa exclusivamente en el deterioro físico que muestre el documento, sin importar la determinación de la estabilidad o inestabilidad química que tenga la tinta aplicada o el propio papel.

Originalmente, la clasificación se desarrolló para estandarizar la descripción del nivel de deterioro durante el diagnóstico de documentos con tintas ferrogálicas. Sin embargo, en la actualidad se la considera una herramienta para el análisis de riesgos en ese tipo de obra, ya que permite facilitar la identificación de soportes con un mayor riesgo de sufrir daño físico y pérdida del material (etapas de degradación ICN 3 y 4) y, unido al empleo de papel indicador de iones de hierro (Fe^{2+}) y observación del documento bajo luz UV, la diferenciación de los casos con una mayor probabilidad de presentar corrosión de la tinta a largo plazo (etapas ICN 1 y 2) en aquellos documentos más estables (Tse & Waller, 2008).

En la Tabla 2, se recogen las cuatro etapas de degradación propuestas por ambos investigadores:

Tabla 2. Etapas de degradación (Tse & Waller, 2008)

Etapas de degradación	Buenas condiciones	Condiciones satisfactorias	Condiciones deficientes	Malas condiciones
Apariencia	No hay halos de tonalidad café en el reverso del documento o son muy tenues	El documento muestra halos de tonalidad oscura en el reverso pero no existen daños mecánicos en el papel	Existencia de trasminación severa al reverso del documento y comienza a existir daño mecánico (fisuras y áreas de pérdida de material)	Existencia de áreas extensas con pérdida de material en la zona de escritura, por carbonización del soporte
Manipulación	Puede manipularse el documento de forma normal y cuidadosa, sin provocar daño	Requiere cuidado especial para no provocar daños mecánicos al manipular la obra	Alto riesgo de daño al manipular el documento. Necesidad de usar un soporte rígido debajo de la obra	Conlleva grandes pérdidas del material y es necesario utilizar un soporte rígido por debajo del documento y/o ser de uso restringido
Representación				

8.1.1.2 Esquema del proceso de degradación del papel causado por tintas ferrogálicas (bajo observación con luz UV)

En el capítulo de alteraciones y efectos, en el apartado de *carbonización del papel y pérdida de material* (6.5.5), se mostró el esquema de los siete cortes estratigráficos de la degradación por corrosión de la tinta observado bajo luz ultravioleta (356 nm).

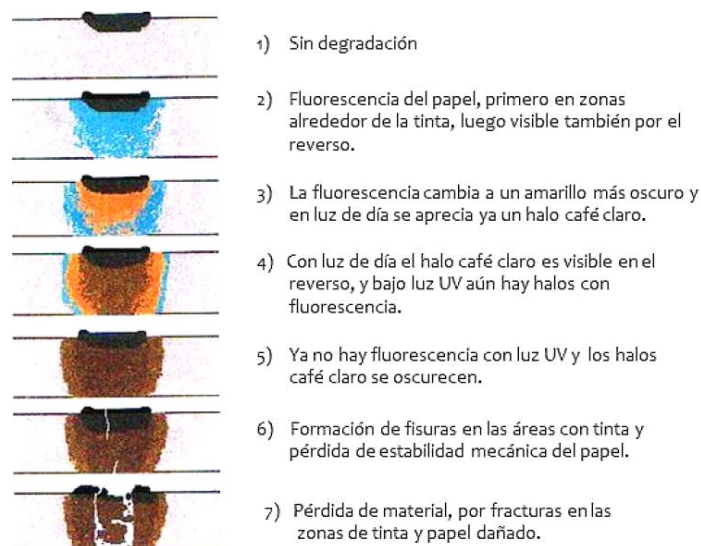


Figura 48. Esquema del proceso de degradación del papel causado por tintas ferrogálicas (Odor, 2013)

A simple vista, el inicio de la degradación del documento por corrosión de la tinta no es posible de apreciar. No obstante, bajo la luz ultravioleta podrán distinguirse halos verdosos alrededor de los trazos, de los cuales su fluorescencia irá variando a una tonalidad amarilla conforme vaya avanzando el deterioro (Reissland, 2000).

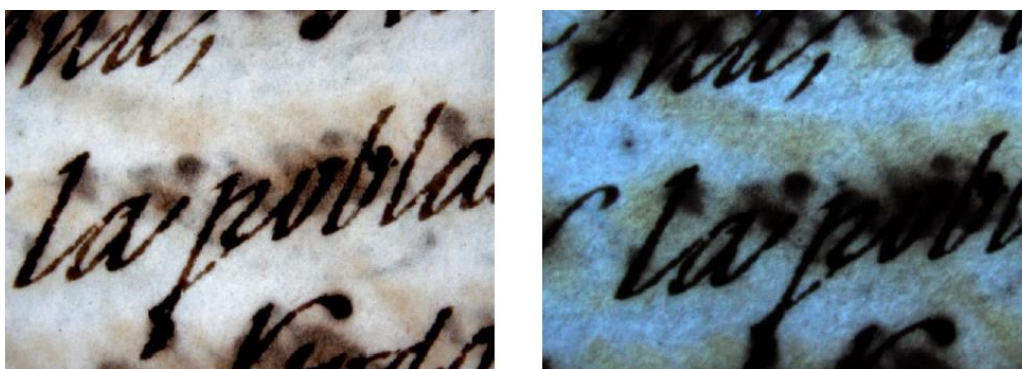


Figura 49. Ligeros halos observados con luz de día y más acentuados bajo la luz UV (Odor, 2013)

Posteriormente, cuando visualmente sí sea posible ver halos café o carbonización del soporte de papel, la fluorescencia bajo la luz UV habrá desaparecido casi en su totalidad (Reissland, 2000).

8.1.1.3 Papel indicador de iones de hierro

A la hora de identificar la presencia de tintas ferrogálicas sobre soportes antiguos existen numerosas opciones; siendo la más destacable el empleo del papel indicador de iones de hierro basado en la batofenantrolina, compuesto incoloro exclusivo para indicar la presencia de iones Fe^{2+} , y en menor medida con los iones de hierro (III), mediante una coloración magenta (Neevel & Reissland, 2005).

Asimismo, existen otros papeles indicadores de hierro disponibles en el mercado. Sin embargo, dichos elementos albergan indicadores solubles en agua, por lo que al realizar la prueba sobre documentos originales directamente puede desembocar en la generación de manchas irreversibles en el documento. Entre los diversos reactivos solubles en agua empleados para la identificación de hierro se encuentran: ácido tánico, ferrocianuro de potasio, tiocianato de potasio, etc. (Neevel & Reissland, 2005).

Otra alternativa para la identificación de iones de hierro es la aplicación de análisis instrumentales, entre los que destacan la fluorescencia de rayos X (FRX) y la emisión de rayos X por partículas inducidas (PIXE), los cuales no son destructivos y son capaces de detectar hasta 20 ppm y 2 ppm respectivamente; aunque no logran diferenciar el estado de oxidación del hierro (Fe^{2+} o Fe^{3+}). Por otro lado, la espectroscopía de Mössbauer (requiere de una muestra y, por tanto, es destructiva) y la microespectroscopía de absorción de rayos X (μXANES , no destructiva) son las únicas técnicas instrumentales que permiten el análisis de cantidades relativas del estado de oxidación de Fe^{2+} y Fe^{3+} . Habitualmente, este tipo de análisis instrumental no es accesible en todas las ocasiones, ya que tienen un coste elevado y el traslado del equipo o los soportes llega a ser un inconveniente según sea el caso (Neevel & Reissland, 2005).

Teniendo en cuenta la necesidad de contar con los métodos más accesibles y efectivos, así como menos dañinos para el diagnóstico de documentos u otras obras, Neevel y Reissland desarrollan el papel indicador de iones de hierro Fe^{2+} . Para ello, impregnaron papel filtro en una solución de batofenantrolina en etanol, ya que si el indicador fuera soluble en agua puede correrse el riesgo de que el indicador migre al soporte y origine manchas indeseadas. En el momento de realizar la prueba, los iones de hierro (II) migran al papel indicador, pues son productos solubles, donde reaccionan con la batofenantrolina y se crea el complejo de color magenta (Rodríguez, 2018).

Como principales ventajas se pueden distinguir: prueba rápida, exclusiva para iones de hierro (II), sensible a partir de 1 ppm de Fe^{2+} , accesible, fácil de realizar e interpretar, el indicador no produce manchas (debido a que no es soluble en agua, pero sí en varios solventes orgánicos), no es una prueba destructiva y no deja residuos en el documento (Neevel & Reissland, 2005).

Es significativo indicar que el hierro detectado por el papel indicador en un documento patrimonial no tiene que provenir exclusivamente de la tinta ferrogálica, sino que también pueden proceder de diversas fuentes más. Dichas fuentes de hierro alternativas pueden ser impurezas metálicas en el soporte desde su manufactura, medios pictóricos y pigmentos amarillos, cafés y rojos; materiales secantes como la arena usada para acelerar el secado de tintas acuosas y fuentes externas encargadas de mantener unidos los documentos (Odor, 2013).

Aplicación de la prueba con el papel indicador de iones de hierro (II)

El método de aplicación del papel indicador hierro (II) puede realizarse de dos formas diferentes (Neevel & Reissland, 2005):

- **En solución:** utilizándose en seco, el papel indicador de iones Fe^{2+} ayuda a verificar si una solución, o incluso el agua empleada para los tratamientos de restauración, tienen impurezas de hierro. Asimismo, también resulta de utilidad durante los tratamientos de estabilización química de tintas ferrogálicas con exceso de hierro, ya que permite ir monitoreando el proceso de eliminación de dicho exceso en cada paso.

- **En superficie:** en el caso de emplearse en húmedo, el papel indicador de iones se aplica en diferentes superficies además del papel, como puede ser el pergamino, textiles y diversos medios pictóricos. Además, puede aplicarse también sobre manchas de óxido, foxing y herramientas metálicas para verificar si se trata de acero inoxidable o si están contaminadas con sales solubles de hierro.

En lo que se refiere al procedimiento de aplicación, el papel indicador de iones debe manipularse siempre con guantes y con herramientas de acero inoxidable o plástico para evitar contaminarlo. Como se mencionó anteriormente, el indicador de batofenantrolina es soluble en alcohol y otros solventes orgánicos, por lo que deberá evitarse la utilización de estos solventes durante las pruebas para prevenir ocasionar manchas en los documentos:

- **En solución:** se realiza un corte pequeño en el papel indicador para obtener un pequeño fragmento e introducirlo en la solución a analizar hasta que quede mojado por completo. Tras ello, se seca ligeramente en un papel secante limpio y seco. Neevel y Reissland suelen recomendar esperar de 2 a 5 minutos para interpretar la prueba, mientras que Tse indica que no debe aguardarse más de 30 minutos para registrar el resultado, ya que el color del indicador puede llegar a intensificarse con el tiempo. Asimismo, según Odor, 3 minutos como tiempo de espera para interpretar la prueba es más que suficiente y si se documentan varias pruebas de un mismo soporte, el tiempo de espera deberá ser el mismo para todas.
- **En superficie (documento seco):** como sucedía en el anterior caso, se corta un fragmento de papel indicador utilizando pinzas y tijeras de acero inoxidable o plástico para evitar el contacto con las manos. Se recomienda que el trozo de papel indicador sea lo más pequeño posible, pero lo suficientemente adecuado para poder llevar a cabo su posterior análisis (2 a 3 mm.). En lo referente a la forma del mismo, se aconseja que sea cortado en forma de triángulo para minimizar aún más la superficie de contacto con el documento.



Figura 50. Aplicación de la prueba con papel indicador de iones de hierro Fe^{2+} (Odor, 2013)

La porción triangular de papel indicador sujeto por pinzas se introduce en agua destilada y, justo después, es presionado sobre un papel secante limpio con el objetivo de retirar el exceso de agua. Posteriormente, el papel indicador húmedo es acomodado sobre el área a analizar y se presiona sobre la misma durante al menos 30 segundos. Para el caso particular del análisis de tintas ferrogálicas, se aconseja que la prueba se ejecute tanto en áreas con trazo como en zonas donde no haya (soporte en blanco), para así poder percibir la diferencia entre una región y otra, puesto que no siempre la coloración del indicador es muy intensa.

Una vez pasado el tiempo indicado, el papel indicador es retirado con pinzas y se coloca sobre una superficie seca, limpia y de color blanco preferentemente (normalmente suele ser

papel secante). Se deja reposar entre 2 y 5 minutos para su interpretación, sin llegar a rebasar los 30 minutos para anotar el resultado y así evitar la documentación de datos erróneos a causa de la intensificación del color del indicador.

Es importante recalcar la necesidad de ejecutar el mismo procedimiento para todas las pruebas a realizar, puesto que se busca lograr resultados confiables y exactos. Por ello, la presión ejercida, el tiempo de duración de la prueba y el tiempo de espera para su interpretación deben ser iguales en todos los ensayos. Asimismo, debe destacarse la importancia del grado de presión a realizar, puesto que debe ser suficiente para que los iones de hierro (II) migren del documento al papel indicador y se contrarreste la falta de humedad, tiempo o incidencia, los cuales disminuyen la migración y alteran el resultado.

- **En superficie (documento húmedo):** en el caso de tener que realizar la prueba durante algún tratamiento acuoso de estabilización, el papel indicador no precisará de su previo humedecimiento, puesto que con el agua presente en el documento será más que suficiente para que los iones de hierro migren al papel indicador.

Para ello, se retira al documento de la pila de lavado y se coloca sobre el área a analizar el trozo de papel indicador. Como recomendación, es preciso dejar secar un poco el documento en el área objetivo antes de colocar el papel indicador, puesto que si no habrá una elevada cantidad de agua que será absorbida por el papel indicador, sin dar tiempo a que el hierro también migre.

En lo referente a los tiempos de espera y la interpretación de la prueba, son iguales al método para documentos secos, descrito con anterioridad.



Figura 51. *Aplicación de la prueba con papel indicador de iones de hierro Fe^{2+} sobre el documento húmedo (Odor, 2013)*

Interpretación de la prueba con el papel indicador de iones de hierro (II)

Como se ha mencionado en los apartados previos, la prueba con el papel indicador se fundamenta en la migración de los iones libres de hierro (Fe^{2+}), presentes en la solución o superficie a analizar, hacia el papel indicador y originándose un complejo color magenta con el indicador de batofenantrolina. Por tanto, siempre será necesario que uno de los dos, ya sea el papel indicador o el documento a analizar, se encuentre húmedo y el otro seco; para aprovechar la movilidad de los iones de hierro con el agua.

Asimismo, también se ha indicado que el mejor momento para la interpretación y registro del resultado de la prueba es entre los 2 y 5 minutos posteriores a su realización. Reissland y Neevel indican que para conocer la concentración estimada de hierro en las regiones analizadas en la prueba, el papel indicador debe ser comparado con la tabla de color para la prueba de iones de hierro (II)

elaborada por Tse y Vuori, en el Instituto de Conservación de Canadá, la cual se expondrá en el siguiente apartado.

No obstante, en ocasiones puede obtenerse en la prueba un resultado negativo, lo cual no quiere decir que no existan iones de hierro Fe^{2+} . Ello puede deberse a la posibilidad de que los iones se encuentren bloqueados por el aglutinante de la propia tinta o por el encolante del papel e incluso debido a un exceso o defecto de agua durante la prueba; además de un déficit de presión del papel indicador sobre el documento patrimonial. Por tanto, una de las opciones más convenientes cuando tenga lugar lo anterior es volver a realizar la prueba de análisis para cerciorarse del resultado obtenido.

Por último, resaltar que durante la ejecución de la prueba cabe la posibilidad de que otros compuestos solubles migren del soporte al papel indicador, como es el caso de entonantes, colorantes, productos solubles de oxidación, etc. Ello da lugar a la cubrición de la tonalidad magenta del indicador y, por tanto, dificulta su interpretación. Para resolver dicho inconveniente, el fragmento del papel indicador puede ser enjuagado en agua destilada, ocasionando que se remuevan los compuestos solubles que hayan migrado; mientras que como el indicador no es soluble en agua el resultado no se verá alterado (Neevel & Reissland, 2005).

Modificación de la prueba para la identificación de iones de hierro (III)

Como se ha podido apreciar anteriormente, la prueba del papel indicador con batofenantrolina es exclusiva para el reconocimiento de iones de hierro Fe^{2+} , a los que se considera los más nocivos para el documento debido a que se encuentran en exceso en el soporte con tintas ferrogálicas y por su gran capacidad para actuar como catalizadores durante la corrosión de la tinta. No obstante, tras realizar la prueba y detectar dichos iones, el análisis puede ser modificado para lograr identificar también a los iones de hierro Fe^{3+} , los cuales no son tan reactivos como el primer tipo pero pueden transformarse fácilmente a Fe^{2+} en ambientes ácidos, incrementando el riesgo potencial de corrosión de la tinta.

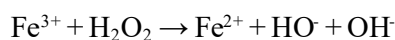
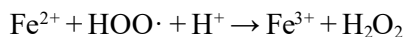
Para efectuar la modificación de la prueba e identificar también los iones de hierro (III), será necesario reducirlos a iones de hierro (II) para que sólo así el indicador de batofenantrolina reaccione con ellos.

Una vez que ha sido llevada a cabo y documentada la prueba inicial, se aplica una gota de un agente reductor al papel indicador, por lo que de manera inminente los iones de hierro Fe^{3+} se reducirán a iones de hierro Fe^{2+} , desembocando en una intensificación del color magenta del papel indicador. Neevel y Reissland dan como recomendación el cortar el papel indicador a la mitad, previo a la modificación, para tener un elemento de referencia del resultado inicial (iones de hierro Fe^{2+}) y así poder compararlo y visualizar el cambio producido. Entre los diversos agentes reductores que Neevel y Reissland mencionan se encuentran el ácido ascórbico, el ácido cítrico o, de preferencia agentes reductores neutros, como el ditionito de sodio, al 1% en agua, para modificar la prueba (Neevel & Reissland, 2005).

Sin embargo, no se recomienda el uso de ácido ascórbico o cítrico para modificar el papel indicador durante los tratamientos de estabilización química de tintas, como es el caso del tratamiento con fitato de calcio. Esto se debe a que dichos compuestos presentan una elevada acidez, por lo que puede provocar la destrucción de los complejos formados entre el hierro y el fitato, dando lugar a la generación de falsos positivos. En estos casos se aconseja decantarse por el empleo de un agente reductor neutro, como es el ditionito de sodio (Neevel & Reissland, 2005).

A pesar de que la prueba con el papel indicador de iones de hierro no es cuantitativa, es posible saber un valor aproximado de la concentración de iones de hierro Fe^{2+} en el área analizada y, por lo tanto, es un indicador efectivo del riesgo potencial de oxidación que catalizaría a la tinta analizada por la mayor o menor presencia de iones libres de hierro (II) (Tse & Waller, 2008). Si bien los iones de hierro Fe^{3+} en un principio no resultan ser un riesgo inminente, puesto que no catalizan la oxidación de la celulosa como los iones de hierro Fe^{2+} , sí que tienen la facilidad de reducirse a Fe^{2+} , tal y como

expone la reacción de Fenton. Por lo que dichos iones conllevan en sí una probabilidad muy elevada de provocar un daño potencial en el soporte y, por tanto, su identificación debe ser considerada también durante el diagnóstico y la toma de decisiones.



Teniendo en cuenta lo anterior, cuando se realicen las pruebas con el papel indicador y las tintas den como resultado un valor muy elevado, éstas presentarán un mayor riesgo por corrosión para el soporte en el que se encuentren que aquellas que den valores más bajos. Tse y Waller, en su propuesta de análisis de riesgos, sopesan como un mayor riesgo de corrosión de la tinta una concentración en torno a 25 ppm de iones de hierro (II), por lo que a partir de dicho valor resulta más dañino desarrollar cualquier tratamiento acuoso en el documento, a no ser que se considere una estabilización química centrada en el exceso de iones de hierro y una neutralización del exceso de acidez vigente en el soporte, los cuales no serían completamente eliminados o estabilizados mediante un lavado acuoso.

Por último, debe destacarse la labor realizada por Neevel y su equipo acerca del desarrollo de un papel indicador de cobre (Cu^{2+}). En este caso, el indicador seleccionado no es soluble en agua, por lo que es factible emplearlo en documentos originales sin riesgo a provocar manchas en el mismo, como ocurre con otros indicadores comerciales. Dicho indicador es un colorante rojo *azo*, que al ponerse en contacto con las sales de cobre origina complejos azules. No obstante, dicho papel indicador aún no se encuentra en el mercado, por lo que su aplicación todavía no es tan accesible como el papel indicador de iones de hierro (II). Sin embargo, el papel indicador de cobre podría ser de gran beneficio durante el diagnóstico de manuscritos con tintas ferrogálicas, ya que algunas de éstas solían presentar en su composición sulfato de cobre, tal y como se ha podido ver en capítulos previos. En numerosas ocasiones la concentración de iones de cobre resulta ser muy elevada, lo cual limita la aplicación de diversos tratamientos de estabilización; como es el caso del tratamiento con fitato de calcio, con bicarbonato de calcio y gelatina tipo B (Neevel, 2008).

8.1.1.4 Tabla de color para la prueba de iones de hierro

Dicha tabla (ver Figura 52) fue desarrollada en el Instituto de Conservación de Canadá (ICC). Para documentar el resultado de dicha prueba, se utiliza la tabla de color y el papel indicador de iones de hierro (II), llevándose a cabo una comparación entre el color obtenido en el papel indicador con las tiras de color de la tabla (Odor, 2013).

La tabla está conformada por cuatro tiras de color magenta, cuya tonalidad va intensificándose conforme se incrementa el estimado de la concentración de iones de hierro (Fe^{2+}). Las marcaciones serán de 1, 10, 25 y más de 50 ppm de hierro.

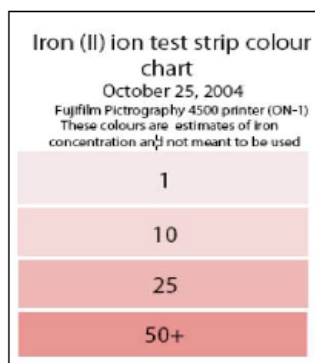


Figura 52. Ejemplo de la Tabla de color para la prueba de iones de hierro (Fe^{2+}) (Odor, 2013)

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, la comparación entre esta tabla con los resultados logrados con el papel indicador de iones de hierro (II) no es una prueba cuantitativa, sino más bien un método para registrar el estimado de la concentración de iones Fe^{2+} .

8.1.2 Grupos de riesgo

Los especialistas canadienses, teniendo en cuenta el estudio de la información elaborada por otras investigaciones y del diagnóstico y análisis de numerosos documentos, han propuesto cuatro grupos de riesgo para clasificar un manuscrito o documento con tintas ferrogálicas (Tse & Waller, 2008):

- **Grupo I:** sin riesgo inmediato.
- **Grupo II:** riesgo de desvanecimiento de la tinta.
- **Grupo III:** riesgo de corrosión de la tinta.
- **Grupo IV:** riesgo de daños mecánicos y pérdida de material.

Además del modelo de evaluación de riesgos, Tse y Waller esbozan otro modelo de propuestas para el control de los riesgos detectados, en el cual se parte del grupo de riesgo (del I al IV) en el que se ha ubicado cada caso, comprendiendo tratamientos de estabilización tanto química como mecánica, así como medidas de conservación preventiva. Por último, se presenta una tabla de opciones de tratamientos que incluye aspectos evaluados en los modelos anteriores, para posibilitar la toma de decisiones.

El primer paso en el modelo de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Figura 51) es el establecimiento de la etapa de degradación (ICN) en la que se encuentra dicho documento patrimonial, así como algunas características físicas del mismo: color de la tinta, grosor del trazo, espesor del papel, presencia y/o cantidad de encolante del papel, etc. Tras ello, se prosigue con la evaluación mediante consideración de la concentración aproximada de iones de hierro Fe^{2+} presentes en el manuscrito, mediante el uso del papel indicador de dichos iones y la tabla de color para la prueba de iones de Fe^{2+} , antes explicados. En función de las características identificadas en cada paso del modelo, es posible situar al documento en uno de los cuatro grupos de riesgo propuestos por Tse y Waller.

Después de saber el grupo de riesgo al que pertenece el documento, se prosigue con el modelo de opciones propuestas para el control de riesgos en tintas ferrogálicas (Figura 52). En dicho control, los autores Tse y Waller recogen varias opciones de tratamiento, tanto de estabilización (química y/o mecánicas) como medidas de conservación preventiva más recomendadas para cada uno de los grupos de riesgo especificado con el modelo anterior.

En el caso de que dentro del grupo de riesgo identificado se aconseja cierto tratamiento de estabilización, Tse y Waller presentan la tabla de opciones de tratamientos para tintas ferrogálicas sobre los soportes de papel (Figura 53). En dicha tabla, se reemprenden diversos puntos ya evaluados (etapa de degradación ICN, concentración de iones Fe^{2+} , características del papel y del trazo de la tinta) y se sopesan algunos de los otros aspectos del documento (pH del papel, presencia de halos a simple vista y bajo luz UV, resultados de la prueba de solubilidad, etc.) para especificar el tratamiento de estabilización más adecuado para cada caso. Asimismo, comentan los principales pasos del tratamiento acuoso de la estabilización química, con algunas diferencias según la solubilidad de la tinta, además de ciertas recomendaciones para su aplicación y las principales referencias sobre dichos temas.

Ambos modelos, el de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas y el de opciones propuestas para el control de riesgos en dichas tintas, así como la tabla de opciones de tratamientos, aportan una gran ayuda para tener un mayor conocimiento y comprensión acerca de la identificación y evaluación de riesgos en documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas durante su diagnóstico. No obstante, la aplicación de estos modelos requiere una profunda consideración de los riesgos actuales y

potenciales que el documento a diagnosticar puede sufrir.

Tse y Waller aconsejan priorizar los cuidados y tratamientos no sólo en aquellos manuscritos que presenten ya daños, sino también en aquellos en los que aún no presentan señales visibles de corrosión, pero que ya se hayan identificado con un alto riesgo de manifestar corrosión de la tinta (Tse & Waller, 2008).

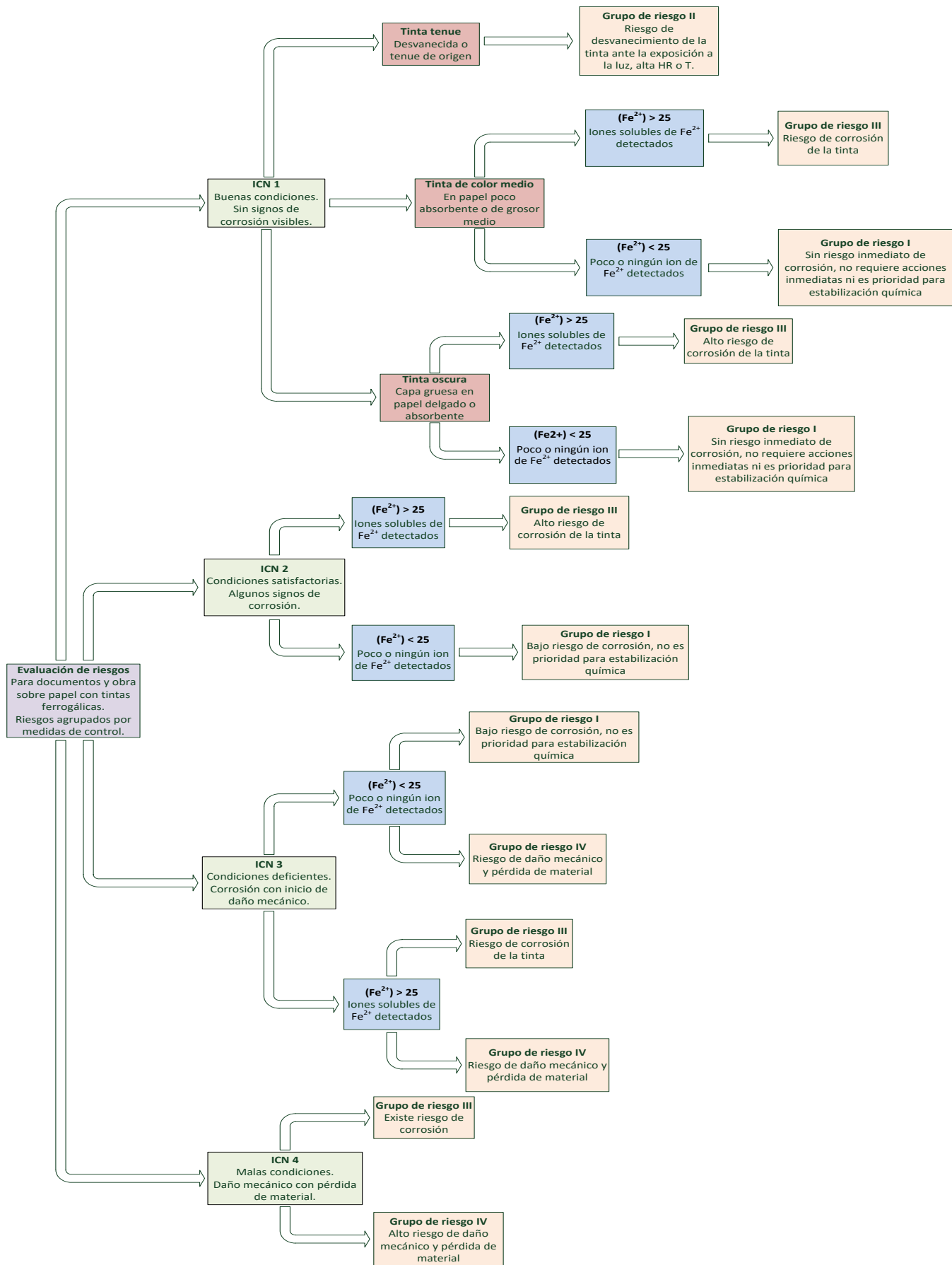


Figura 53. Modelo de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Tse & Waller, 2008)

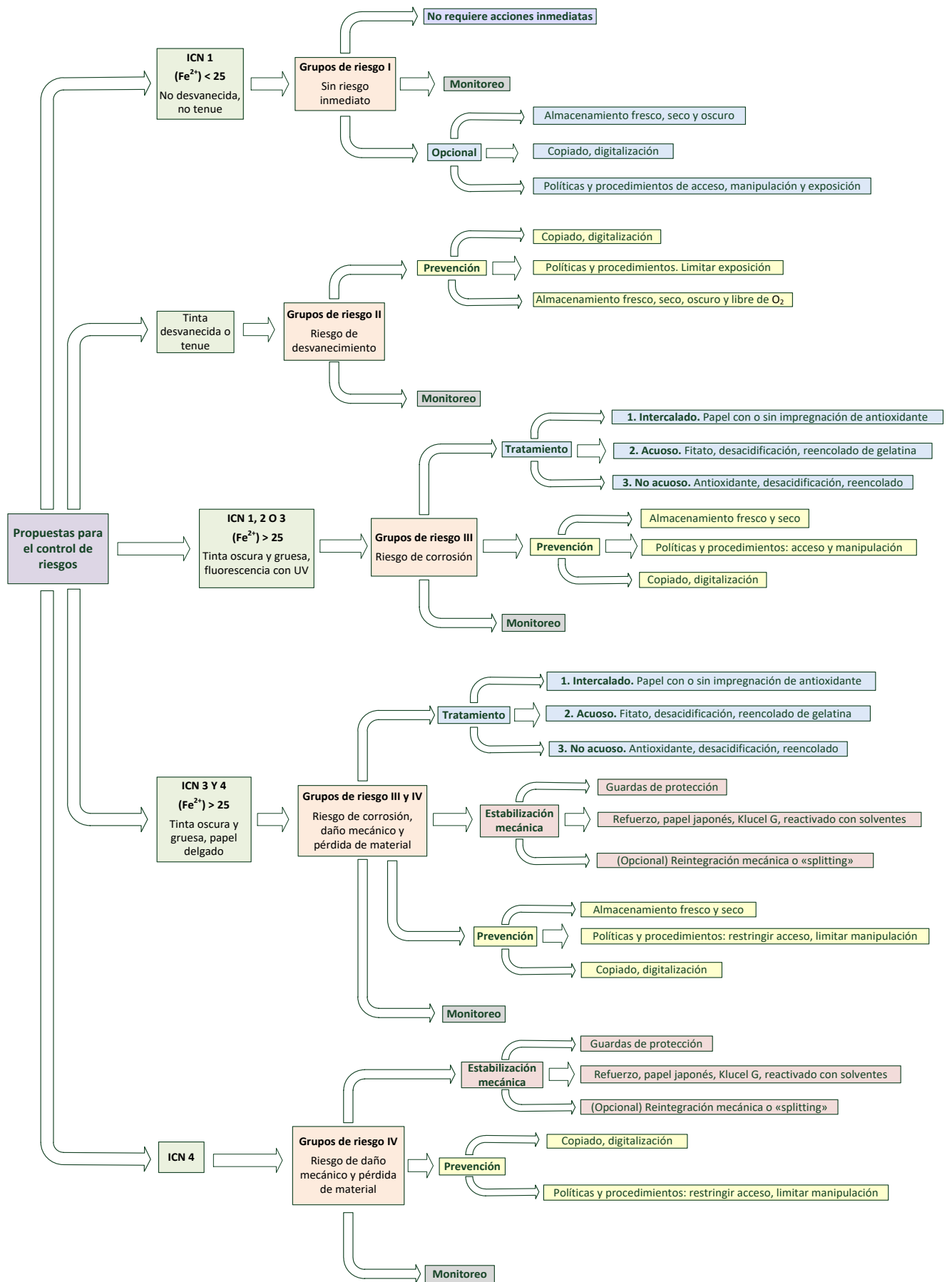


Figura 54. Modelo de opciones propuestas para el control de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Tse & Waller, 2008)

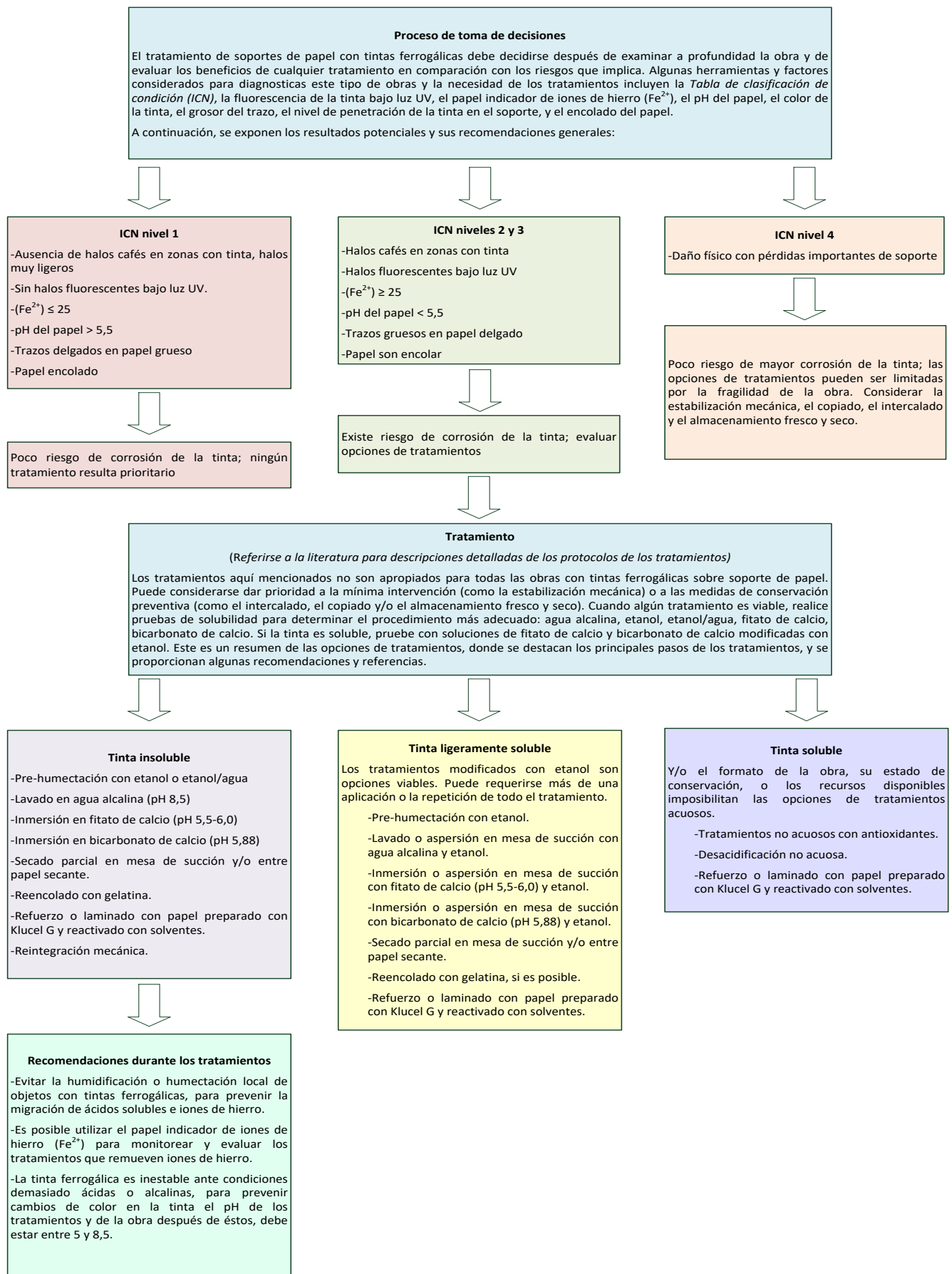


Figura 55. Tabla de opciones de tratamientos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel (Tse & Waller, 2008)

De este modo, a partir del establecimiento del grupo de riesgo en el que se localice el documento, se tiene la posibilidad de determinar las prioridades en cuanto a medidas de estabilización y/o conservación preventiva se refiere. Con ello, se logrará atender y reducir al máximo nivel los principales riesgos identificados, tanto en el momento del análisis como a medio y largo plazo.

Sin embargo, los modelos de Tse y Waller no contemplan la presencia y/o concentraciones aproximadas de iones de cobre, tal y como se comentó en el apartado 8.1.1.3, y, por tanto, sus modelos solo se centran exclusivamente en las tintas ferrogálicas con iones de hierro exclusivamente.

Asimismo, es importante recalcar que la figura del técnico encargado de llevar a cabo el diagnóstico de la obra prevalece sobre las clasificaciones y modelos expuestos en este apartado, siendo estos últimos meros elementos de apoyo para la realización del diagnóstico del documento con tintas ferrogálicas. Es decir, como en cualquier diagnóstico de un bien cultural, debe repararse en todos los aspectos y valores, tanto históricos como estéticos, funcionales y tecnológicos, del documento y obra a tratar.

Tal y como se verá en el siguiente punto, las posibilidades para la estabilización química y mecánica de documentos con tintas ferrogálicas fueron escogidas de acuerdo a los expuestos por Tse y Waller en sus modelos, así como otras propuestas y conclusiones de varios investigadores que han sido analizadas y aplicadas en los últimos años en el campo de la restauración.

8.2 Limitaciones en la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas

Como se ha comentado anteriormente, valores elevados de humedad relativa puede ocasionar graves riesgos potenciales en la catálisis y extensión de la corrosión de la tinta ferrogálica con exceso de iones metálicos en los soportes que la alberga. Sin embargo, el exceso de humedad no solo hace referencia a niveles altos en el ambiente donde se encuentre el documento, sino que también tiene presente los tratamientos acuosos llevados a cabo en los procesos de estabilización durante la etapa de restauración de la obra.

Por ello, al introducir directamente humedad durante un tratamiento acuoso de restauración (lavados, injertos, refuerzos, laminados...) en un documento con exceso de hierro en las tintas, posibilita la migración de los iones de hierro y ácido sulfúrico y, por tanto, la extensión del daño por corrosión de la tinta a todo el documento a largo plazo (Odor, 2013). Tal es el caso también de los tratamientos con humectaciones parciales o aquellos que se consideran más controlados pueden desembocar en ser los más dañinos con el paso del tiempo ya que favorecerán la migración de los iones de hierro y del ácido de la tinta, sin llegar a eliminarlos o/y estabilizarlos.

Así, los siguientes tratamientos, típicos en la restauración de papel, podrían llegar a provocar más riesgos que beneficios en un documento con tintas ferrogálicas:

a) Blanqueos con agentes oxidantes

Este tipo de agentes, como el peróxido de hidrógeno, propician la oxidación de la tinta. En diversos estudios se ha expuesto que tras la aplicación de este tipo de agentes oxidantes aparecen manchas de color café intenso (Neevel & Reissland, 2005).

b) Lavados acuosos

Los iones de hierro al ser solubles en agua, pueden ser removidos parcialmente con lavados acuosos. Sin embargo, ello no significa que los lavados o tratamientos acuosos aplicados siempre sean capaces de remover todo el hierro libre de las tintas ferrogálicas con exceso de hierro. En esas situaciones, será preciso que junto con los lavados se realice una

estabilización química de los iones de hierro que aún permanezcan en el soporte (Neevel & Reissland, 2005). Asimismo, durante los lavados acuosos se elimina gran parte de la acidez del documento, debido a la facilidad con la que el ácido se propaga en agua; no obstante, dicha acción no es suficiente y sería necesario ejecutar una desacidificación.

Generalmente, los lavados suelen ser menos nocivos desde el punto de vista de extender el deterioro por corrosión de la tinta, ya que hay una mayor presencia de agua que en una humectación parcial o tratamiento local, se eliminan más acidez e iones de hierro. Sin embargo, en el caso de no conocer la concentración aproximada de iones de hierro y de ácido en el documento, no es recomendable realizar este tratamiento (Odor, 2013).

c) Métodos de humectación, aspersión, fumigación o humidificación ultrasónico

Estos procedimientos pueden llegar a causar un elevado riesgo de deterioro, debido a que se favorece la migración de los iones libres de hierro y ácido sulfúrico de las tintas ferrogálicas como ya se ha comentado anteriormente. Si se realizan humectaciones parciales, los iones metálicos y el ácido sulfúrico no son retirados ni neutralizados, por lo que esos tratamientos resultan en los más peligrosos ante tintas con exceso de sulfato ferroso (Rouchon & Durocher, 2006).

d) Aplicación de adhesivos acuosos para la colocación de injertos, refuerzos o laminados

Al utilizar un refuerzo con un adhesivo acuoso sobre una tinta ferrogálica se fomenta la migración del hierro y el ácido desde el trazo de la tinta hasta donde se limite la aplicación del adhesivo. A simple vista, la migración no es evidente ni a corto plazo; sin embargo, a largo plazo puede denotar la extensión del deterioro por corrosión de tinta a toda la zona reforzada (Odor, 2013).

Por tanto, es evidente que al ejecutar la restauración de documentos con tintas ferrogálicas mediante tratamientos acuosos, puede provocar un mayor daño del que ya alberga el documento, hasta el punto de ser irreversible. Esto no quiere decir que no puedan ser aplicados en este tipo de documentos. Para ello, es necesario que el experto encargado de efectuar la restauración deba realizar una profunda investigación sobre la estabilidad química de la tinta y evaluar los previsibles riesgos que cualquier tratamiento significaría en cada caso, para así tomar la decisión más conveniente para cada fondo documental (Odor, 2013).

9 ESTABILIZACIÓN DE DOCUMENTOS CON TINTAS FERROGÁLICAS

La restauración y conservación de patrimonio documental con tintas ferrogálicas no es una tarea fácil ni sencilla. Ello se debe, principalmente, a la gran diversidad en la composición y estabilidad química de la tinta, así como en la elevada susceptibilidad que dichas obras albergan a causa de diferentes causas de deterioro (ambiental, antropogénico, etc.), lo cual resulta en la corrosión del elemento gráfico del manuscrito o documento y, por consiguiente, en el daño al soporte que los contiene.

A la hora de llevar a cabo la estabilización de los documentos, debe tenerse en cuenta varias limitaciones presentes en los mismos para su tratamiento, las cuales deberán conocerse y sopesarse de antemano para ejecutar una correcta intervención mediante la metodología de evaluación de riesgos sugerida en el bloque anterior.

Sin embargo, a pesar de la existencia de diversos limitantes para ejecutar la restauración de este tipo de obras, se tienen numerosas posibilidades, poco a poco más amplia, para la estabilización mecánica y química de los documentos con tintas ferrogálicas. Dichos tratamientos, al estar apropiadamente fundamentados, permiten paliar y/o eliminar los principales riesgos registrados en la obra y desembocando en una correcta conservación a medio y largo plazo.

A pesar de ello, es importante tener presente que cualquier tratamiento, ya sea acuoso o no, además de las ventajas e inconvenientes, puede suponer un posible riesgo para el documento, lo cual deberá conocerse y considerarse para obrar de la mejor forma posible. Por tanto, tanto el diagnóstico y la correcta evaluación de los deterioros presentes y potenciales, como la identificación y priorización de los factores de riesgo en cada caso, resulta de vital importancia para la preservación del documento y de la información que éste posea (Reissland, 1999).

9.1 Consideraciones previas a cualquier tratamiento

Previo a la realización de cualquier tratamiento de estabilización en manuscritos y documentos con tintas ferrogálicas, es aconsejable valorar y meditar los siguientes apartados (Rouchon & Durocher, 2006):

- Necesidad de realizar el tratamiento.
- Posibles riesgos ante la aplicación de los tratamientos seleccionados.
- Posibilidad de otras alternativas para resolver la problemática descubierta y/o para prevenir los riesgos que el tratamiento escogido puede representar.
- Objetivos de la intervención.
- Posible pérdida de información recogida en el documento al aplicar ciertos procesos.
- Pruebas previas necesarias de acuerdo al tratamiento a realizar, como son: absorción del papel, identificación de iones solubles de hierro, solubilidad de medios, ...

- Cambios factibles en el documento tras los tratamientos: textura, color, brillo, opacidad, formación de depósito en la superficie, sangrado de tintas, pérdida de materiales secantes, etc.
- Principales áreas de riesgo en el documento o manuscrito ante los tratamientos que se propongan, como las regiones más oxidadas o ya carbonizadas, manchas anteriores producidas por la presencia de componentes solubles, zonas con ataque previo de microorganismos y que se encuentren más frágiles que el resto de la obra, etc.

Igual que sucede en cualquier otro caso, la intervención directa en un manuscrito u obra con tintas ferrogálicas deber la última elección, dándole prioridad a las medidas de conservación preventiva y, posteriormente, la mínima intervención necesaria (Reissland, Schepper, & Fleischer, 2007).

En la Tabla 3 presentada a continuación, se exponen las principales estrategias, tratamientos de estabilización y medidas de conservación preventiva para cada grupo de riesgo identificado por Tse y Waller. Sin embargo, lo indicado en dicha tabla no se aplica de igual forma para todos los casos, pero resulta ser una buena guía para priorizar las estrategias a seguir y las diferentes maneras de prevenir y controlar los riesgos identificados y evaluados (Tse & Waller, 2008).

Tabla 3. Principales estrategias, tratamientos de estabilización y medidas de conservación preventiva para cada grupo de riesgo identificado

Grupo de riesgo	Sin riesgo inmediato	Riesgo de desvanecimiento de la tinta	Riesgo de corrosión de la tinta	Riesgo de daños mecánicos y pérdida de material
Estrategia	No requiere acciones inmediatas	-Identificación de las causas de desvanecimiento en el almacenamiento -Prevención o retraso mayor desvanecimiento -Preservar la información	-Retraso o inhibición de la corrosión -Prevenir la trasminación por migración de los iones de hierro y ácido sulfúrico -Preservación de la información	-Prevenir mayor daño mecánico y pérdida de material: establecer políticas estrictas de acceso y manipulación -Prevenir la trasminación por migración de los iones de hierro y ácido sulfúrico -Preservar la información
Tratamientos de estabilización	Ninguno	Incierto, hace falta mayor investigación al respecto	-Acuoso: fitato de calcio, bicarbonato de calcio -No acuoso: antioxidante (TBAB) y desacidificación no acuosa -Reencolado con gelatina tipo B	-Estabilización mecánica (no acuosa: adhesivos reactivados con solventes orgánicos) -Reintegración mecánica y splitting
Medidas de conservación preventiva	Almacenamiento fresco y seco	-Almacenamiento fresco, seco y oscuro -Reprografía	-Intercalado de papel impregnado con reserva alcalina y/o antioxidantes -Almacenamiento fresco y seco -Reprografía	-Almacenamiento fresco y seco -Reprografía

Como se ha indicado con anterioridad, las distintas posibilidades para la estabilización química y mecánica de documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas expuestas en los siguientes apartados han sido seleccionadas en función de las indicadas por los modelos expuestos en el capítulo de diagnóstico, los cuales son: modelo de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel, modelo de opciones propuestas para el control de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel y la tabla de opciones de tratamientos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel del ICN. Asimismo, a ello se le une también todo lo investigado sobre dicho tema en los últimos años de la mano de varios expertos e investigadores.

9.2 Tipos de estabilización

Debe tenerse presente que la estabilización de un documento u obra puede realizarse de dos formas distintas, cada una de las cuales con una finalidad de restauración diferente. Por ello, es preciso aclarar las peculiaridades de cada una de las opciones.

Por un lado, se encuentra la estabilización química de documentos con tintas ferrogálicas, donde el objetivo principal es eliminar o desactivar a los iones de hierro que el elemento gráfico presenta en exceso, además de eliminar y/o neutralizar el exceso de acidez que la tinta haya producido en el soporte que la contiene. Es importante remarcar las diferencias en los distintos términos mencionados, para así poder entender más claramente la acción restauradora que ejecutan. En la estabilización química, el término ‘eliminar’ hace referencia a la remoción de iones de hierro aprovechando su afinidad con el agua, normalmente durante lavados acuosos. En cambio ‘desactivar’ hace alusión a envolver o rodear a los iones de hierro, constituyendo compuestos químicamente estables, los cuales no catalizarán la hidrólisis de la celulosa. Asimismo, ‘eliminar’ indica la reducción de la concentración del ácido presente en el documento, beneficiándose de su afinidad con el agua. Y, por último, el término ‘neutralizar’ se refiere a la reducción de la acidez del documento a través de una desacidificación, aprovechando la reacción de neutralización entre un ácido y una base.

Por otro lado, la estabilización mecánica se fundamenta en el restablecimiento de la resistencia física del documento en su totalidad o, si eso no es necesario, en aquellas zonas donde se haya visto mayormente reducida o perdida a causa de factores internos y externos como el ataque de microorganismos, roturas, corrosión de la tinta, etc.

Según los materiales empleados en el proceso, los dos tipos de estabilizaciones mencionadas pueden dividirse en tipos: tratamientos acuosos y no acuosos. El primer tipo, como su nombre indica, comprende los tratamientos con agua, además de mezclas formadas por agua y alcohol. Por otra parte, los tratamientos acuosos implican el uso de solventes orgánicos para así evitar el empleo de agua o mezclas con la misma, ya que ésta puede tener un efecto dañino sobre el documento u obra.

Asimismo, es importante resaltar que, con independencia del tipo de estabilización escogida para actuar, cualquier documento patrimonial con tintas ferrogálicas como elemento gráfico precisa de la aplicación previa de varias medidas básicas de conservación preventiva para lograr garantizar una correcta estabilidad, ya sea mecánica o química, así como una prolongada permanencia con el paso del tiempo.

A continuación, en la Figura 56 se muestra la clasificación de los principales procesos existentes en la actualidad para la estabilización de documentos y manuscritos con tintas ferrogálicas.

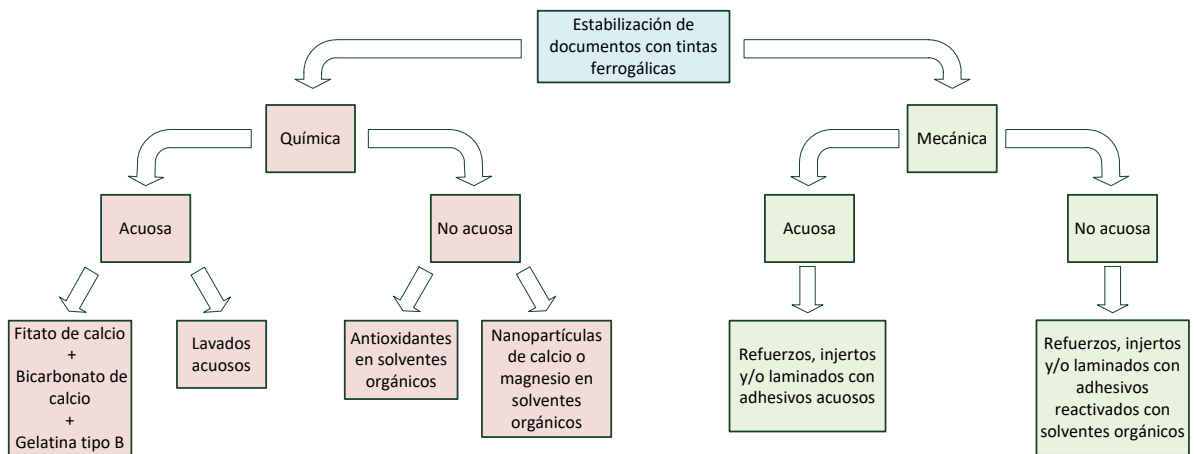


Figura 56. Posibilidades para la estabilización de documentos con tintas ferrogáficas

9.3 Principales ventajas e inconvenientes de cada tipo de estabilización

A continuación, para resumir todas ventajas e inconvenientes de cada uno de los tipos de estabilización indicados en el apartado anterior, se exponen las Tablas 4-7, en las cuales se especifica además los tratamientos en tinta ferrogáficas sobre soportes de papel indicados por el ICN.

Tabla 4. *Ventajas y desventajas de la estabilización química acuosa (Odor, 2013)*

ESTABILIZACIÓN QUÍMICA ACUOSA DE TINTAS FERROGÁLICAS	
Principales ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Remoción del exceso de iones libres de hierro y de acidez aportados por las tintas ferrogálicas desbalanceadas hacia el hierro. Ello impide que se siga catalizando la corrosión de la tinta (Axe, 2003). -Se retiran los productos solubles de degradación del papel (Reissland, 1999), reduciendo el amarillamiento del mismo e incrementando el contraste entre éste y los trazos de tinta (Reissland, 2000). -Recuperación de los puentes de hidrógeno entre las fibras de celulosa del soporte, restituyéndole flexibilidad al documento (Reissland, 1999).
Principales desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Pérdida de la composición original de la tinta y del soporte de papel (Rouchon, 2008). -Riesgo de favorecer la migración del exceso de iones de hierro y aceleración del deterioro por parte de los mismos si no se detecta su presencia antes del tratamiento (Reissland, 1999) -Posibles cambios apreciables a simple vista en la tinta y el papel (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012), es decir, apreciación de modificación del color, aparición de halos o sangrado de la tinta (Reissland, 2000), y pérdida de nitidez del trazo (Gersten, 2011). Todo ello debido a la disolución de componentes solubles y/o productos de degradación del papel y/o la tinta. -Posibles fracturas y/o pérdida del material en las zonas más dañadas (hidrofóbicas) (Reissland, 2000), si no se identifican las áreas de riesgo en el documento o se manipula inadecuadamente durante el tratamiento y/o se humecta y seca homogéneamente (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012). -Posible disminución de la cohesión del soporte por la pérdida del encolante y reducción en la opacidad del papel por la pérdida de cargas. -Solamente pueden aplicarse a documentos sueltos, siendo imposibles para documentos encuadernados, cuyo desglose no esté justificado. -Se requieren tiempos prolongados para su aplicación, por lo que no resultan la mejor opción para la intervención de muchas obras o documentos. -No pueden aplicarse de forma masiva, ni de manera local (en una zona específica del documento). -No remueven ni estabilizan (fitato de calcio) con tanta facilidad metales de transición el cobre (Neevel, 2002).
Tratamientos	<ul style="list-style-type: none"> -Fitato de calcio + Bicarbonato de calcio + Gelatina B -Lavados acuosos

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la estabilización química no acuosa (Odor, 2013)

ESTABILIZACIÓN QUÍMICA NO ACUOSA DE TINTAS FERROGÁLICAS	
Principales ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Según el solvente seleccionado, y su método de aplicación, puede reducirse la migración de los iones de hierro y del ácido de la tinta, disminuyendo el riesgo de extender el deterioro fuera de los trazos (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011) -Factible para tintas con componentes solubles que podrían migrar o perderse ante tratamientos acuosos. -Los antioxidantes podrían estabilizar a los iones metálicos, mientras que las nanopartículas neutralizan la acidez del documento o ajustan su pH (Poggi & Baglioni, 2011). -Posibilidad de aplicarlos de forma local, por lo que es una buena opción para material documental encuadernado, en el cual no se considere necesario y/o prioritario el desglose del volumen. -Se mitigan las tensiones diferenciales en las zonas hidrofóbicas del papel (por no involucrar agua), reduciendo el riesgo de generar más fracturas o pérdida de material. -Podrían funcionar para tintas con exceso de otros metales, como el cobre, al no ser exclusivos para el hierro; tal es el caso del fitato de calcio (Kolar, Strlic, Budnar, Malcsic, & Sclih, 2003).
Principales desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -No es posible remover el exceso de iones libres de hierro ni de acidez, los cuales han aportados por tintas ferrogálicas desbalanceadas hacia el hierro -Los productos solubles de degradación del papel no pueden ser removidos (Reissland, 1999). -Según el tipo de solvente a utilizar y su método de aplicación, si no se cuenta con la protección necesaria, estos procesos pueden resultar dañinos para la salud del personal que los realiza. -No se recuperan enlaces por puentes de hidrógeno entre las fibras del soporte, por lo que no adquiere la flexibilidad que le brindan los tratamientos acuosos (Reissland, 1999). -Las nanopartículas pueden neutralizar la acidez, pero no remueven ni acomplejan al hierro -Los antioxidantes no acuosos aún se encuentran en la fase de experimentación y hasta la fecha no es recomendable su aplicación en documentos originales (Guild, Tse, & Trojan-Bedinsky, 2008) -Aun no es posible aplicarlos de forma masiva
Tratamientos	<ul style="list-style-type: none"> -Antioxidantes en solventes orgánicos -Nanopartículas de calcio o magnesio en solventes orgánicos

Tabla 6. *Ventajas y desventajas de la estabilización mecánica acuosa (Odor, 2013)*

ESTABILIZACIÓN MECÁNICA ACUOSA DE TINTAS FERROGÁLICAS	
Principales ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Son una buena opción para documentos que ya han sido estabilizados químicamente con tratamientos acuosos. -Se recuperan enlaces por puentes de hidrógeno entre las fibras del soporte, devolviendo al documento flexibilidad (Reissland, 1999) -En algunos casos pueden actuar como tratamientos locales (zonas sin tinta, o en documentos con tintas que no presenten exceso de iones metálicos y/o acidez.
Principales desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -No se remueve ni estabiliza el exceso de iones libres de hierro ni de acidez, los cuales han sido aportados por tintas ferrogálicas desbalanceadas hacia el hierro -Únicamente pueden aplicarse en tintas que no presentan exceso de iones metálicos y acidez, o en documentos previamente estabilizados químicamente -Riesgo de favorecer la migración del exceso de iones de hierro y acelerar el deterioro que ocasionan si no se detecta su presencia antes del tratamiento (Reissland, 1999). -Posibles cambios visuales en la tinta y el papel (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012) (modificación del color), aparición de halos o sangrado de la tinta y pérdida de nitidez del trazo), por la disolución de componentes solubles (entonantes), y/o productos de degradación del papel y/o la tinta (Reissland, 2000) -Posibilidad de fracturas y/o pérdida de material en las zonas más dañadas (hidrofóbicas) (Gersten, 2011), si no se identifican las zonas de riesgo en el documento, no se manipula de forma adecuada, y/o no se humecta y seca homogéneamente (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012) -No es posible aplicarlos de forma masiva
Tratamientos	<ul style="list-style-type: none"> -Refuerzos, injertos y/o laminados con adhesivos acuosos

Tabla 7. Ventajas y desventajas de la estabilización mecánica no acuosa (Odor, 2013)

ESTABILIZACIÓN MECÁNICA NO ACUOSA DE TINTAS FERROGÁLICAS	
Principales ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Viables para tintas con componentes solubles que podrían correrse o perderse ante tratamientos acuosos. -Dependiendo del solvente elegido y su método de aplicación, puede reducirse la migración de los iones de hierro y del ácido de la tinta, minimizando el riesgo de extender el deterioro más allá de los trazos (Reissland, 1999) -Se reducen las tensiones diferenciales en las zonas hidrofóbicas del papel (por no involucrar agua), minimizando el riesgo de generar más fracturas o pérdida de material. -Es posible aplicarlos de manera local siendo una buena opción para material documental encuadernado, en el que no se considere necesario y/o prioritario el desglose del volumen. -En ocasiones son considerados como la última opción para la estabilización mecánica de documentos sumamente carbonizados por corrosión de la tinta, por el riesgo que significaría la aplicación de tratamientos acuosos en documentos sumamente dañados o frágiles (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012)
Principales desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -No se remueven ni estabilizan el exceso de iones libres de hierro ni de acidez, aportados por tintas ferrogálicas desbalanceadas hacia el hierro. -Dependiendo del solvente a utilizar y su método de aplicación, si no cuenta con la protección necesaria, estos procesos pueden resultar dañinos para la salud del personal que los realiza. -No es posible aplicarlos de forma masiva.
Tratamientos	-Refuerzos, injertos y/o laminados con adhesivos reactivados con solventes orgánicos

9.4 Estabilización química

Gracias a la realización del diagnóstico de un documento con tintas ferrogálicas puede precisarse la estabilidad que el elemento gráfico del documento presenta en lo referente al exceso de iones de hierro y de acidez. Asimismo, gracias a dicho procedimiento es factible establecer la necesidad o no de una estabilización química para frenar el proceso de corrosión, así como la ejecución de otros tratamientos, mayormente del tipo acuoso, sin probabilidad de provocar una mayor extensión del riesgo por corrosión de la tinta en la totalidad de la obra.

Rouchon en su investigación comenta acerca de varios estudios de conservación en los que los tratamientos acuosos para la estabilización química de tintas ferrogálicas se han ejecutado como medida preventiva para impedir que una tinta químicamente inestable alcance niveles de corrosión que pongan en riesgo de daño al documento que las contiene, incluso si aún se encuentra en un buen estado (Rouchon, 2008). Sin embargo, otros expertos aconsejan que un procedimiento más adecuado es llevar a cabo la aplicación de medidas de conservación preventiva, las cuales tienen también la capacidad de minimizar el riesgo por corrosión, pero sin la obligación de suministrar al documento patrimonial otro tratamiento que atañe más riesgos de los que ya posee y la posible pérdida de información, así como la composición original del soporte o de las tintas.

En diversos casos, principalmente en aquellos en los que el documento ya muestra signos de daño por corrosión, y teniendo en cuenta lo determinado en la etapa de diagnóstico, el proceso de estabilización química de la tinta ferrogálica es la mejor opción restaurativa. Ello se justifica debido a la capacidad que tiene la técnica de estabilización para bloquear la acción catalítica de los iones libres de hierro Fe^{2+} y del ácido sulfúrico, mediante su neutralización y remoción respectivamente (Reissland, 1999).

En los siguientes subapartados, se describen las posibilidades más relevantes en la actualidad para la estabilización química de documentos con tintas ferrogálicas, indicando los materiales utilizados y desarrollando, en la medida de lo posible, las pautas a seguir para su aplicación; además de varias recomendaciones para optimizar y mejorar los procesos a la vez que se exponen observaciones acerca de los tratamientos que varios expertos han expuesto en sus trabajos de investigación.

9.4.1 Estabilización química acuosa

En los últimos años, se han desarrollado numerosas investigaciones centradas en elaborar distintas propuestas de tratamiento de estabilización química de las tintas ferrogálicas con exceso de hierro (Fe^{2+}). Para ello, se han planteado el empleo de diversos antioxidantes y desacidificantes, así como lavados acuosos, los cuales se exponen a continuación.

9.4.1.1 Estabilización química con fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B

Como se ha indicado en la introducción de este apartado, la utilización de varios antioxidantes y desacidificantes, siendo el tratamiento con fitato de calcio y bicarbonato de calcio el más recomendado, es una de las alternativas más viables para el tratamiento de tintas ferrogálicas contenidas en documentos históricos.

El tratamiento con fitato y bicarbonato es el más aconsejado debido a su efectividad para estabilizar la tinta y no conlleva daños en esta o en el propio soporte a largo plazo. Tiene como objetivo resolver dos problemas básicos: por un lado, el problema del exceso de iones Fe^{2+} libres y, por otro lado, el exceso de acidez en el papel (Zappala & De Stefani, 2005).

Por tanto, esta estabilización química se realizará mediante la ejecución de dos pasos. Una primera etapa será la estabilización del hierro a través de la aplicación de un quelante, es decir, el fitato de calcio; y un reencolado con gelatina tipo B. Así, de segunda etapa se tendrá como objetivo la disminución o eliminación del exceso de acidez, la cual se llevará a cabo mediante una desacidificación con bicarbonato de calcio (Orlandini, 2009) (Gersten, 2011).

Es importante aclarar que para que el tratamiento sea totalmente efectivo, deben efectuarse de forma precisa y ordenada todos los pasos, así como respetar los tiempos estipulados en cada una de las etapas, según sea el caso.

Estabilización del exceso de iones libres de hierro

Desde el año 1995, Neevel plantea la utilización de compuestos quelantes, en concreto los fitatos, para contener y prevenir la corrosión en manuscritos catalizada por las tintas ferrogálicas con exceso de hierro que forman parte del elemento gráfico del documento (Neevel, 1995). Neevel, a lo largo de sus diversas investigaciones, ha realizado pruebas con fitato de calcio, fitato de magnesio, fitato de sodio; fitato de litio-aluminio (en alcohol) y con otros agentes quelantes de hierro típicamente empleados en el campo de la conservación, como es el caso del EDTA. Éste último compuesto, cuyas siglas en inglés *ethylene diamine tetra acetate* se corresponden con el ácido etilendiaminotetraacético, se ha utilizado en tratamientos de conservación, como es el caso de objetos metálicos. Sin embargo, el EDTA no es recomendable para la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas debido a que puede romper el complejo ferrogálico e incrementar la solubilidad de los iones de hierro Fe^{2+} , según Neevel. Asimismo, el complejo que el EDTA forma con el hierro tienen la capacidad de interactuar con los peróxidos durante la oxidación de la celulosa y seguir catalizándola, llegando incluso a producirse una aceleración de dicho deterioro tras el tratamiento con dicho compuesto (Neevel, 1995). Por tanto, entre las diversas investigaciones, los fitatos de calcio son los que han permitido obtener mejores resultados al tiempo que el fitato de litio-aluminio ha sido el menos efectivo para acomplejar el hierro (Neevel, 2002).

Por otro lado, Botti, Mantovani y Ruggiero han indicado que los fitatos de calcio, así como los de sodio y magnesio son efectivos para la estabilización del hierro. No obstante, a causa de la gran solubilidad del fitato de sodio, éste tiende a migrar hacia los bordes del documento, provocando un oscurecimiento del papel en dichas áreas (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005).

Kolar señala que el fitato de magnesio es igual de efectivo que el de calcio, presentando como ventaja la falta de necesidad de un ajuste de pH con amoníaco, tal como ocurre con el fitato de calcio debido a motivos de toxicidad (Kolar, Mozir, Strlic, Pihlar, & Steemers, 2007). A pesar de ello, el tratamiento más utilizado, investigado y aprobado hasta el momento es con el fitato de calcio en solución acuosa (Zappala & De Stefani, 2005).

Dicha solución acuosa de fitato de calcio se elabora a partir del ácido fítico, agua y carbonato de calcio. El ácido fítico tiene una afinidad muy elevada con el hierro, presentando una alta capacidad para rodearlo o quelarlo, dando lugar a que se evite la reacción del hierro con otras estructuras y, por lo tanto, que catalice reacciones que degraden a los soportes de papel. De igual forma, el complejo de fitato de calcio intercambia los iones de calcio por los iones de hierro Fe^{2+} y Fe^{3+} , originando fitatos de hierro altamente estables y en los que el hierro ya no puede encargarse de catalizar la oxidación de la celulosa (Orlandini, 2009).

Es importante reseñar que los fitatos o sales de ácido fítico (hexafosfato de inositol) son antioxidantes naturales debido a su contenido en fósforo, los cuales se encuentran presentes hasta un 5% en la mayoría de los cereales, nueces, legumbres y semillas aceitosas, esporas y polen (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). En la Figura 57 se aprecia la estructura molecular del ácido fítico:

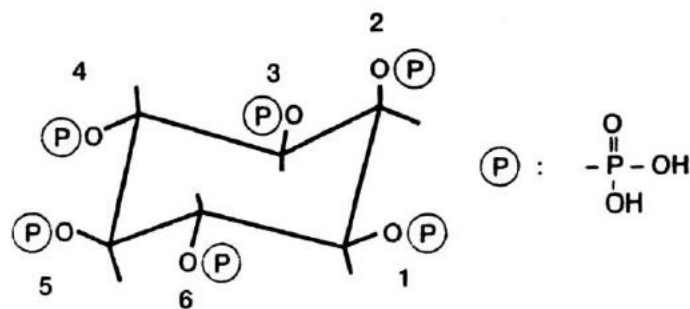


Figura 57. Estructura molecular del ácido fítico (Neevel, 2002)

Los fitatos no solamente bloquean la reacción de Fenton, sino que también se encarga de ofrecer una buena protección contra la oxidación de la celulosa ya que disminuyen la concentración de iones libres Fe^{2+} , incrementan la oxidación del hierro (II) a hierro (III) reduciendo su potencial redox y acomplejan a los iones de hierro Fe^{3+} , lo que evita que se reduzcan de nuevo a hierro Fe^{2+} (Neevel, 1995).

Sin embargo, una de las principales desventajas de este tratamiento es que estabiliza exclusivamente iones de hierro y no de otros metales que pueden estar presentes típicamente en las tintas metaloácidas (cobre, plomo o zinc) (Kolar, Strlic, Budnar, Malcsic, & Sclih, 2003). A pesar de ello, Neevel señala que el fitato sí es capaz de provocar que los iones de estos metales se vuelvan más solubles y, por tanto, eso facilita la eliminación de los mismos durante el tratamiento acuoso. Asimismo, Neevel también indica que los fitatos de cobre originados no resultan ser tan estables como los fitatos de hierro, pero sí mucho más solubles que el cobre en su forma iónica; con lo cual al efectuar un lavado acuoso tras el tratamiento con fitato de calcio, el cobre (unido al fitato) podría eliminarse con mucha más facilidad (Neevel, 2002).

A causa de que la estabilización química acuosa de las tintas requiere que el documento se encuentre en inmersión por periodo de una hora máximo, es indispensable que el procedimiento finalice con un reencolado, lo cual sustituye al encolante original (puesto que suele perderse durante los tratamientos acuosos) y que le aporta más cohesión y resistencia al soporte de papel.

Según las investigaciones de Kolbe, y de acuerdo a lo anterior, la gelatina presente en papeles antiguos, actuando como encolante, puede encargarse de actuar como un agente inhibidor de la corrosión de la tinta gracias a su capacidad de formar complejos con el hierro (Titus, Schneller, Huhsmann, Hähner, & Banik, 2009). Por tanto, el tratamiento se finaliza con un reencolado de gelatina tipo B (fabricada por medios alcalinos).

Estabilización del exceso de acidez

Como se indicó al comienzo del apartado, el fitato de calcio solo se encarga de resolver el problema con el exceso de iones de hierro, por lo que es imprescindible que dicho tratamiento sea complementado con una desacidificación para neutralizar la acidez del documento (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). Por ello, para ese fin se emplea el bicarbonato de calcio, ya que se ha comprobado que permite conseguir los mejores resultados.

Neevel se ha encargado de experimentar con sales de calcio y magnesio, así como una mezcla de ambas, con el objetivo de desacidificar los documentos durante el tratamiento de estabilización química acuosa. Dicha investigación, dilucidó que con el bicarbonato de calcio se obtenían mejores resultados debido a que las soluciones con magnesio eran demasiado alcalinas, lo que ocasiona poner en riesgo al complejo ferrogálico, el cual es inestable a partir de un pH de 9 (Reissland, 1999).

Normalmente, el pH de las soluciones de bicarbonato de magnesio se encuentra en torno a 7,07. Sin embargo, al secarse, el hidróxido de magnesio depositado en el soporte de papel puede llegar

a adquirir valores entre 9,5 y 10 (Neevel, 2002), con lo que ello representa un riesgo considerable para la estabilidad de la tinta ferrogálica. Junto a esto, también se tiene que tener en cuenta que la mayoría de las probetas y documentos originales que han padecido una desacidificación con sales de magnesio y han sido envejecidos posteriormente de forma artificial, tienden a sufrir hidrólisis alcalina y un amarillamiento, basado en la elevada alcalinidad que los documentos alcanzan al secarse (Zappala & De Stefani, 2005).

Asimismo, el otro desacidificante muy empleado en la restauración del papel es el hidróxido de calcio, el cual también puede provocar que los documentos adquieran un pH superior a 8,5; por lo que tampoco sería recomendable su utilización en aquellos documentos que contengan tintas ferrogálicas (Reissland, 2000). Por tanto, la mejor opción para el tratamiento es el bicarbonato de calcio ya que éste depositado sobre el soporte de papel no llega a superar un 8,5 de pH, incluso después de que el documento se haya secado (Neevel, 2002).

Por consiguiente, puede afirmarse que el tratamiento acuoso de estabilización química de tintas ferrogálicas con exceso de hierro se beneficia la afinidad del hierro con el fitato de calcio y la gelatina tipo B, además de la reacción de neutralización del ácido sulfúrico mediante la utilización de bicarbonato de calcio.

La eficacia de este tratamiento se basa, principalmente, en el empleo de grandes cantidades de agua, la cual debe estar presente en casi todos los pasos, puesto que permite la eliminación de la mayor parte del exceso de iones de hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}) y ácido sulfúrico del documento a tratar, además de los fitatos de hierro originados durante la etapa de estabilización (Neevel, 2002). No obstante, debido al hecho de que es un tratamiento acuoso esto resulta en una de sus principales desventajas, ya que puede provocar cambios en el soporte y en la tinta, así como la adición de otros riesgos implicados referidos a posibles daños mecánicos en el documento durante su aplicación y manejo (Gersten, 2011).

El tratamiento consta de los siguientes cuatro pasos principales (Odor, 2013):

1. Lavado acuoso que elimina la mayor parte de los productos solubles de degradación del documento, incluyendo los iones libres de hierro y la acidez, catalizadores de la corrosión de la tinta.
2. Aplicación del fitato de calcio. Los iones libres de hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}) se unen a los grupos fosfato de los carbonos 1, 2 y 3 del ácido fítico. Dicha acción evita que el hierro siga actuando como catalizador a la vez que cuida de no destruir o dañar al complejo ferrogálico de la tinta (Neevel, 2002).
3. El bicarbonato de calcio desacidifica eficazmente al documento, evitando que se alcancen elevados niveles de pH, lo cual supondría un riesgo para el complejo ferrogálico de la tinta.
4. La gelatina tipo B se utiliza como reencolante de los documentos ya estabilizados, teniendo un efecto adhesivo. Como principal ventaja presenta la capacidad de formar complejos con los iones de hierro que pueden haber quedado en el documento después de los tratamientos anteriores. Dichos complejos tendrán una adecuada estabilidad hasta un 70% de humedad relativa (Titus, Schneller, Huhsman, Hähner, & Banik, 2009).

Asimismo, una de las principales ventajas de este tratamiento de estabilización es que tras ser ejecutado, pueden realizarse otros tratamientos acuosos (como pueden ser las humidificaciones, refuerzos, injertos, laminados, etc.) en documentos con tintas ferrogálicas con exceso de hierro, sin llegar a producirse riesgos de aceleración o extensión del deterioro del documento.

No obstante, como principal desventaja se encuentra la incapacidad de estabilización de otros iones distintos al hierro, así como la elevada necesidad de agua durante todo el proceso y el

tiempo de duración del mismo, cercano a una hora por cada documento. Además, no puede ser aplicado de forma local ni masiva. Igualmente, a causa de los cambios visuales que pueden originarse tanto en el soporte como en la tinta a partir del proceso acuoso de estabilización química, dicho tratamiento no es aconsejable para aquellas obras gráficas que posean un valor estético y/o la apariciencia de las tintas o su contraste, trasciendan directamente en la apreciación del mensaje que contengan (Sellink, 1998).

Por tanto, se trata de un procedimiento más utilizable y recomendable para documentos manuscritos y no en obras gráficas, teniendo siempre presente que solamente sea en aquellos casos en los que se considere necesario a partir de la evaluación de los riesgos y establecimiento de las propiedades del documento (Gersten, 2011). El tratamiento acuoso de estabilización química puede llegar a tener grandes beneficios para los documentos patrimoniales con corrosión de la tinta, siempre y cuando sea aplicado en los casos correctos y de forma cuidadosa y precisa (Reissland, 2000).

9.4.1.2 Lavados acuosos

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, los iones de hierro y el ácido sulfúrico presentes en exceso en diversas tintas ferrogálicas son muy afines con el agua, por lo que durante los tratamientos acuosos de estabilización se aprovecha dicha característica para eliminarlos mediante lavados y así evitar que continúen actuando como catalizadores en el deterioro por corrosión de la tinta.

Según Tse y Waller, existe un riesgo más elevado de corrosión de la tinta en aquellos documentos con tintas ferrogálicas que contengan concentraciones de iones de hierro Fe^{2+} mayores o iguales a 25 ppm (Tse & Waller, 2008).

Por ello, dentro del *Modelo de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel*, las tintas con unas concentraciones de hierro Fe^{2+} menor a 25 ppm suelen estar clasificadas en los primeros grupos de riesgos, es decir, los de menor riesgo de corrosión, y con lo cual no suelen albergar el estatus de prioridad para la estabilización química con fitato de calcio.

No obstante, en diversas situaciones es preciso efectuar lavados acuosos en documentos con este tipo de tintas, o bien tratamientos que impliquen la incorporación de agua al soporte con el objetivo de resolver los problemas ajenos a la corrosión de la tinta, ya sea el exceso de suciedad, eliminación de intervenciones anteriores de restauración, papeles sumamente oxidados, aplicación de fungicidas mediante métodos acuosos, etc.

A pesar de que en estos casos el riesgo de propagar el deterioro sería mucho menor que en aquellos documentos u obras con tintas que tengan mayores concentraciones de iones de hierro, existe también la posibilidad de remover el exceso de iones de hierro y de acidez, tal y como se hace en los primeros pasos del tratamiento de estabilización química con fitato de calcio.

En varios estudios, al realizar una comparativa entre las concentraciones de iones antes y después del lavado acuoso, se aprecia que la concentración aproximada de iones de hierro Fe^{2+} disminuye un nivel en la *Tabla de color para la prueba de iones de hierro (Fe^{2+})* del ICC. Es decir, en el caso de realizar un lavado acuoso a un documento que posea una concentración aproximada de iones Fe^{2+} de 10 ppm de una duración máxima de 30 minutos, se obtiene una concentración final de 1 ppm, aproximadamente. Sin embargo, esto no quiere decir que sea una variación exacta y que suceda de la misma forma en todos los casos, ya que cada documento presenta unas características y propiedades muy diferentes unos de otros; pero que puede asumirse como referencia general en la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas (Odor, 2013).

Con lo cual, el uso del papel indicador de iones de hierro (II) es una herramienta bastante útil en este tipo de casos, ya que permite monitorear la eficacia de los lavados acuosos y ver si han sido suficientes para remover todo el exceso de hierro de la tinta tratada.

Tal y como ocurría en los lavados del tratamiento de estabilización química con fitato de calcio,

en estos lavados acuosos no es recomendable el empleo de agua destilada o desionizada y se permite utilizar agua del grifo o de garrafón, siempre y cuando no contengan demasiadas impurezas. Asimismo, también es aconsejable llevar a cabo un cambio constante del agua de lavado, ya que es mejor ejecutar varios lavados cortos y con un nivel bajo de agua que un único lavado con mucha agua. Cuanta más variación de agua haya, mayor será la eliminación de iones de hierro y de ácido sulfúrico. En lo referente a la duración de cada lavado, las recomendaciones más frecuentes son las mismas que las indicadas en los lavados acuosos durante la estabilización química con fitato de calcio (Odor, 2013).

En caso de que sea necesario llevar a cabo una desacidificación tras el lavado acuoso, por ejemplo debido a que los papeles presenten una alta acidez, es recomendable realizar la desacidificación con bicarbonato de calcio, tal y como se hace durante la estabilización química con fitato de calcio (Odor, 2013).

De igual forma, tras finalizar el tratamiento de lavado acuoso de un documento con tinta ferrogámica, se haga o no desacidificación posterior, es aconsejable ejecutar sobre el mismo un reencolado con gelatina tipo B, con el objetivo de restituir al encolante original y aprovechar la capacidad que tiene este adhesivo para formar complejos con el hierro, del cual aún pudiera haber alguna fracción libre en el documento.

Si el elemento gráfico del documento contuviera cantidades significativas de metales de transición distintos al hierro (como el zinc, cobre y plomo), no es conveniente realizar lavados acuosos, sobre todo en aquellos documentos en los que la tinta contuviera una concentración de cobre igual o mayor que de hierro. Ello se debe a que podría producirse el riesgo de no eliminar los iones de cobre por completo y tendría lugar la migración de los mismos desde los trazos de tinta hacia el resto del soporte, lo que favorecería la propagación del deterioro por corrosión en todo el documento a largo plazo. A causa de que el papel indicador de cobre aún no se encuentra tan accesible como el de hierro, conocer la presencia de iones de cobre es más complicado y dificulta la toma de decisiones en lo referente a este punto (Odor, 2013).

Asimismo, si el documento a restaurar presentara una concentración de iones Fe^{2+} superior a 25 ppm en las tintas que alberga y únicamente se realiza el lavado acuoso sin proseguir con el tratamiento completo de estabilización (fitato, bicarbonato y gelatina), existe una alta probabilidad de que no se elimine totalmente el exceso de iones de hierro y de acidez. Por tanto, se favorecería la migración de ambos factores al resto del documento, así como el deterioro del mismo, desembocando el tratamiento en un mayor daño que en un beneficio.

En definitiva, los lavados acuosos suponen muchas ventajas para los documentos con tintas ferrogámicas que tengan una baja concentración de iones de hierro (II), pero es indispensable que dicha aplicación se encuentre apropiadamente respaldada y que sea totalmente necesaria, ya que continúan representando un riesgo para el documento y pueden conllevar cambios irreversibles en la composición original de la obra.

9.4.2 Estabilización química no acuosa

9.4.2.1 Antioxidantes en solventes orgánicos

Varios investigadores, entre ellos Kolar y su equipo, se han centrado en buscar un tratamiento no acuoso para la estabilización química de documentos u obras con tintas ferrogámicas que presenten exceso de iones metálicos en su composición. Una de las alternativas propuestas por Kolar se basa en la consolidación del exceso de iones metálicos mediante el uso de antioxidantes sin llegar a implicar al agua, por lo que a largo plazo no llegaría a suponer un futuro riesgo como es el caso del tratamiento con fitato de calcio.

Asimismo, se intenta lograr que estos tratamientos no se encarguen de estabilizar únicamente al hierro, sino que también lo hagan con el cobre y otros metales de transición, los cuales formarían parte de las tintas ferrogámicas a modo de impurezas (Kolar, Strlic, Budnar, Malcsic, & Sclih,

2003). Ello conllevaría una gran ventaja frente a los tratamientos con fitato de calcio, ya que éstos solamente estabilizan los iones de hierro, y se obtendría la capacidad de estabilizar cualquier tipo de tinta ferrogálica con exceso de iones metálicos variados, independientemente del tipo (Poggi & Baglioni, 2011).

Los compuestos que mejores resultados han dado en los diferentes ensayos ejecutados en el proyecto InkCor, financiado por la Unión Europea, han sido los halogenuros cuaternarios de amonio como el bromuro de tetrabutilamonio (TBAB) o el bromuro de 1-etil-3-metilimidazolio (EMIMBr) en probetas envejecidas artificialmente (Malesic, Kolar, Strlic, & Polanc, 2005). Ambos se caracterizan por ser descomponedores del peróxido y solubles en etanol; y se informa que el EMIMBr resulta más eficaz que el TBAB, e incluso más que los fitatos de calcio y magnesio de tratamientos acuosos (Tse, Trojan-Bedynski, & St-Jaques, 2012). Sin embargo, ambos compuestos aún continúan en fase experimental, por lo que su uso no es recomendable todavía para la estabilización de documentos originales.

Además de lo anterior, es importante indicar que este tipo de tratamiento no implica en su procedimiento una desacidificación del documento. Por tanto, solo se encarga de resolver el problema originado por el exceso de iones metálicos y no por el exceso de ácido sulfúrico presente en el papel. No obstante, tal y como ocurría en el tratamiento con fitatos, para que se produzca una buena efectividad del proceso con bromuros para impedir la corrosión de la tinta, es necesario complementarlo con una desacidificación (Poggi & Baglioni, 2011). A este respecto, aun se precisa de determinar una alternativa viable de desacidificación no acuosa que posibilite su aplicación al finalizar la estabilización no acuosa del exceso de iones metálicos en las tintas.

Neevel señala que los antioxidantes presentan como desventaja principal su consumo conforme se van oxidando, por lo que, seguramente, los tratamientos con antioxidantes deberían repetirse eventualmente. Asimismo, también apunta que al oxidarse suelen generarse compuestos coloridos. Estos inconvenientes denotan la gran diferencia con el tratamiento con fitatos, los cuales no precisan de una segunda aplicación, además de formar compuestos blancos (Neevel, 2002).

En conclusión, aunque no sea recomendable la aplicación del tratamiento no acuoso con bromuros (TBAB y EMIMBr) para la estabilización química de tintas ferrogálicas en documentos patrimoniales, las investigaciones acerca de su utilización siguen desarrollándose, evaluando su efectividad y efectos a largo plazo. Por tanto, es indispensable mantenerse actualizado en cuanto a estas opciones de restauración, las cuales podrían significar muchas ventajas, sobre todo al enfrentarse a colecciones de grandes dimensiones y/o composiciones muy heterogéneas.

9.4.2.2 Nanopartículas de calcio o magnesio en solventes orgánicos

Tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, también se ha llevado a cabo la investigación del empleo de desacidificantes no acuosos para la estabilización de iones metálicos en tintas ferrogálicas e inhibir el deterioro por corrosión de la misma en los documentos que las contienen.

Entre los desacidificantes no acuosos destaca el *Bookkeeper*, nombre comercial para aquel compuesto formado por micropartículas de óxido de magnesio en solventes fluorados. Generalmente, dicho desacidificante se utiliza en la desacidificación masiva y/o local de documentos con soporte de papel. Algunos especialistas indican que las micropartículas del compuesto no llegan a ser lo suficientemente pequeñas para penetrar del todo en el papel, además de que todavía no se conocen los efectos a largo plazo de los surfactantes fluorados sobre el soporte (Poggi & Baglioni, 2011). A pesar de ello, el *Bookkeeper* es considerado como uno de los mejores desacidificantes no acuosos disponibles en el mercado actual y a causa del tipo de solventes que los componen, es factible su aplicación en masa (Poggi, Giorgi, Toccafondi, Katur, & Baglioni, 2010).

El tratamiento con *Bookkeeper* se basa en una desacidificación con sales de magnesio, por lo que el pH final del documento desacidificado podría alcanzar niveles tales que pongan en riesgo al complejo ferrogálico. Asimismo, el efecto de los surfactantes fluorados a largo plazo en el papel o en las tintas aún se desconoce, como ya se ha mencionado antes. Igualmente, en el caso de que los papeles se encuentren elaborados con pulpa de madera, pueden visualizarse amarillamiento en ciertas regiones después de la desacidificación con este producto. Debido a ello, algunos restauradores no recomiendan la aplicación de *Bookkeeper* en documentos con tintas ferrogálicas.

En los últimos 10 años, principalmente en Italia, se ha realizado una gran variedad de investigaciones acerca del uso de nanopartículas para la desacidificación de materiales celulósicos, obteniéndose unos resultados positivos en papel, madera y lienzos (Giorgi, Dei, Cecato, Schettino, & Baglioni, 2002). Además, también se ha propuesto el empleo de esta tecnología para desacidificaciones de documentos con tintas ferrogálicas (Poggi & Baglioni, 2011).

Giorgi y su grupo plantean la opción de aplicar nanopartículas de hidróxido de calcio, en especial de magnesio, en alcoholes (primordialmente isopropílico) como un desacidificante no acuoso para documentos con tintas ferrogálicas (Poggi & Baglioni, 2011). En sus estudios han expuesto que al realizar el ajuste de pH entorno a un valor neutro del documento (entre 6,5 y 7,5) a través de la desacidificación no acuosa con nanopartículas de calcio o magnesio se produce la inhibición de la corrosión de la tinta. Este tratamiento no implica la utilización de antioxidantes para la estabilización de iones metálicos de la tinta y todavía se encuentra en fase de investigación, aunque en Italia ya se ha aplicado sobre documentos originales (Poggi, Giorgi, Toccafondi, Katur, & Baglioni, 2010).

Entre las diversas ventajas del uso de nanopartículas, se encuentran las siguientes:

- Cuánto más pequeña sean las partículas, más rápida será la neutralización así como homogénea.
- Las nanopartículas dispersadas en alcohol logran penetrar más fácilmente en los soportes de papel, incluso en aquellos poco porosos, y gracias a su naturaleza no acuosa, resultan una buena opción para aquellos documentos con componentes sensibles al agua (Poggi & Baglioni, 2011).
- Esta tecnología conlleva una desacidificación controlada, lo que significa que la concentración de la dispersión, inclusive el tamaño de las partículas utilizadas, puede ajustarse para producir un pH neutro, sin llegar a correr el riesgo de alcanzar niveles de pH que pusieran en riesgo al complejo ferrogálico o que puedan generar una hidrólisis alcalina de la celulosa. La hidrólisis alcalina se basa en una serie de reacciones de degradación de la celulosa ante un pH altamente alcalino, principalmente en papeles muy oxidados, debido a que suelen producirse en las áreas de la molécula donde se han formado grupos carbonilo durante la oxidación de la celulosa (Strlic & Kolar, 2002).

Poggi menciona que la actividad catalítica de los iones metálicos, hierro y cobre, es muy baja cuando el pH es próximo al neutro, por lo que considera un método eficaz para la desacidificación de documentos con tintas ferrogálicas además de ser de utilidad para inhibir la degradación por corrosión de la tinta. Unido a ello, el uso de nanopartículas de magnesio puede producir la inhibición de los principales mecanismos de degradación de la celulosa por corrosión de la tinta, hidrólisis y oxidación de la celulosa, en un único paso; algo muy diferente de lo que ocurre con los tratamientos con antioxidantes con fitatos y TBAB ya que precisan de un segundo paso para desacidificar (Poggi & Baglioni, 2011).

La inhibición de la acción catalítica de los iones metálicos con la utilización de nanopartículas de magnesio para desacidificar se basa esencialmente a que se reduce la constante reacción de óxido-reducción del hierro, aminorando así la concentración de iones de hierro Fe^{2+} disponibles

para catalizar los mecanismos de la oxidación de la celulosa.

Por otra parte, Neevel y Reissland indican que a pesar de la desacidificación de documentos permite disminuir el deterioro a causa de la corrosión de la tinta, aplicar solamente este tratamiento no es suficiente para detener el proceso completo de degradación (Neevel, 1995).

A pesar de que existen investigaciones que demuestran la capacidad de las nanopartículas para inhibir la corrosión de la tinta mediante la neutralización de la acidez y disminuyendo la velocidad de degradación de oxidación de la celulosa, no conlleva la eliminación ni el bloqueo de los iones metálicos, tal y como hacen los tratamientos que incluyen también el empleo de quelantes o antioxidantes (como el TBAB o los fitatos). Al tratarse de una alternativa relativamente reciente, todavía se requiere una profunda investigación al respecto para determinar si la desacidificación y la inhibición del deterioro resultan suficientes a largo plazo o si el proceso demandará complementarse con la utilización de antioxidantes (Poggi & Baglioni, 2011).

Asimismo, también se precisaría de contar con diversos estudios que demuestren si los alcoholes usados y los métodos de aplicación de las nanopartículas no producen la migración de los iones metálicos de los trazos al resto del soporte. Si bien el alcohol isopropílico es menos polar que el agua o incluso que el alcohol etílico, todavía es necesario contrastar que al aplicar el tratamiento de desacidificación no acuosa no se está produciendo la migración del hierro (o de otros metales), ya que tampoco se estarán inmovilizando o eliminando (Odor, 2013).

Una de las principales desventajas del uso de nanopartículas como tratamiento para estabilizar documentos patrimoniales es que normalmente se tratan de métodos patentados y que las diseminaciones difícilmente podrán ser preparadas en un laboratorio convencional de restauración. Por tanto, la adquisición del producto, y por ello su aplicación, puede ser limitada.

En definitiva, la utilización de nanopartículas posee grandes beneficios en la conservación de diferentes materiales y su aplicación en documentos con tintas ferrogálicas puede ser un método con resultados prometedores. No obstante, todavía se requiere que se continúe investigando y divulgar los resultados para facilitar su seguimiento, así como concretar más metódicamente en qué casos específicos resulta conveniente la aplicación de este tipo de técnica, debido a que dependerá de las características particulares de cada obra y no todos los tipos de tinta ferrogálica demandarán los mismos tratamientos.

9.4.3 Materiales, procedimientos y recomendaciones para la estabilización química con fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B

9.4.3.1 Materiales empleados en el tratamiento

Con el objetivo de lograr que el tratamiento de estabilización química acuosa sea lo más satisfactorio posible, los materiales a utilizar deben cumplir una serie de características específicas para cada uno. Dichas particularidades se especifican a continuación.

Fitato de calcio

Para la elaboración de la solución acuosa de fitato de calcio se precisan el ácido fítico y el carbonato de calcio, aconsejándose que el agua a emplear para su preparación sea destilada o purificada.

El ajuste del pH es indispensable durante la elaboración del fitato de calcio, ya que si no se ejecuta dicho paso la solución sería demasiado ácida para su aplicación directa sobre los documentos patrimoniales (Reissland, 1999). Por ello, se recomienda el uso de hidróxido de amonio (o más conocido como amoniaco acuoso) para regular el pH de la solución, entorno a 5,5 y 5,8 (Rouchon, 2008), pues a partir de 5,6 de pH empiezan a precipitar las sales de fitato de

calcio en la solución (Kolar, Mozir, Strlic, Pihlar, & Steemers, 2007). Neevel explica que se emplea amoníaco y no carbonato de calcio para el ajuste de pH debido a que éste último compuesto podría favorecer la formación y precipitación de tri- y tetra- fitatos de calcio, algo completamente indeseado (Neevel, 2002). En lo referente a la cantidad de amoníaco a usar, se deja la responsabilidad al técnico de laboratorio, aconsejándose normalmente que dicho compuesto se encuentre bastante diluido y se vaya agregando gota a gota hasta lograr el pH deseado.

Bicarbonato de calcio

El bicarbonato de calcio utilizado en la desacidificación de documentos con tintas ferrogálicas, es producido a partir de la adición de dióxido de carbono a una solución saturada de carbonato de calcio.

Es interesante mencionar que en el caso de no contar con tanques de CO₂, tal y como ocurre en la mayoría de los talleres y laboratorios de restauración, puede emplearse como alternativa viable agua mineral gasificada y carbonato de calcio para preparar el bicarbonato de calcio, sobre todo si no se hace gran escala. Varios técnicos exponen que dicha preparación les ha permitido obtener muy buenos resultados para la desacidificación de documentos, siendo bastante económica y sencilla (Odor, 2013).

Agua

Tal y como su nombre indica, al ser un tratamiento acuoso se precisan de varios lavados acuosos e inmersiones del documento en soluciones acuosas, por lo que el agua a utilizar debe albergar una buena calidad y temperatura.

El agua destilada o desmineralizada para el lavado de documentos con tintas ferrogálicas permite la remoción de más iones de hierro debido a que posee menos sales que el agua común; sin embargo, también posee la capacidad de remover varios iones del papel (como pueden ser las cargas que actúan como reserva alcalina) y provocar más cambios en la tinta al disolver más a un los productos solubles de ésta (Reissland, 2000).

Kolbe indica que en ciertas ocasiones al realizar un lavado con agua desmineralizada a documentos con tintas puede originarse el sangrado y pérdida de nitidez en los trazos de las mismas (Reissland, 1999). El término de sangrado aplicado a tintas ferrogálicas, se refiere a la traducción del término en inglés de *bleeding*, generalmente citado como un efecto secundario de diversos tratamientos y que se basa en un proceso en el cual se disuelven parcialmente los productos coloridos de la tinta, suponiendo un riesgo desde el punto de vista de producir halos en las zonas colindantes del soporte (Reissland, 2000).

Por lo tanto, teniendo presente lo expuesto anteriormente, no es recomendable la utilización de agua desionizada o desmineralizada en el lavado de documentos con tintas ferrogálicas, siendo más aconsejable el agua del grifo, es decir, potable; siempre y cuando no contenga un elevado número de impurezas (como pueden ser partículas metálicas o el cloro).

Hay que recalcar que, en lavados llevados a cabo posteriormente a la aplicación de fitato de calcio, es imprescindible tener especial atención a la calidad del agua, así como que ésta incluya la menor cantidad posible de impurezas, tal y como se ha indicado previamente.

Existen varios autores, como Brannahl, Heller y Biggs, que se han encargado de evaluar los efectos que tienen lugar al incrementar la temperatura del agua durante el lavado acuoso de documentos con tintas ferrogálicas, fundamentalmente el caso del agua a punto de ebullición. Brannahl afirma que tras dicho procedimiento las tintas muestran cierto sangrado. Entre tanto, Heller indica que el sangrado de las tintas es un resultado menos común en el caso de emplear agua hirviendo que con agua a menor temperatura, además de que el papel también adquiere una mayor flexibilidad tras el tratamiento. Por otro lado, Biggs menciona que también reporta buenos

resultados en lo referente a la resistencia del soporte de papel tras ejecutar lavados de 15 minutos con agua a 100°C; no obstante, señala que en diversas ocasiones se ha percibido un encogimiento del papel después del tratamiento. Por su parte, Rouchon reporta el desvanecimiento de algunas tintas ante tratamientos con agua caliente y fitato de calcio (Reissland, 1999).

Asimismo, Odor comenta que al emplear el método del agua hirviendo, o a temperaturas cercanas al punto de ebullición, en casos muy particulares como es la eliminación de intervenciones previas de restauración realizadas con adhesivos altamente oxidados y rígidos, los soportes se perciben notablemente más laxos después del procedimiento, posiblemente a causa de la pérdida de componentes como encolantes y cargas originales a causa de las altas temperaturas (Odor, 2013).

Por tanto, debido a los riesgos que suponen el empleo de agua hirviendo para las tintas y el papel, no es recomendable utilizar este método en el tratamiento de estabilización acuosa de tintas ferrogálicas con exceso de hierro. En general, se obtienen buenos resultados, en cuanto a la limpieza y eliminación de iones libres de hierro y acidez en documentos con tintas ferrogálicas, con lavados a temperatura ambiente, teniendo siempre presente la renovación constante del agua.

Gelatina tipo B

La gelatina es un producto de naturaleza proteínica que se obtiene a partir de la hidrólisis parcial de tejidos óseos y cartilagosos con un alto contenido en colágeno. La gelatina se presenta en estado sólido en forma de polvo o granulado con diferentes granulometrías, según el suministrador, o en forma de placas. En agua fría es insoluble, hinchándose y ablandándose, a la vez que absorbe de forma gradual hasta un máximo de entre 5 y 10 veces su peso en agua (Pacheco & Mendia, 2013).

Existen dos tipos de gelatinas: la gelatina tipo A, cuya extracción se lleva a cabo en medio ácido, y la gelatina tipo B, la cual se extrae del colágeno en un medio alcalino (Pacheco & Mendia, 2013).

A causa de que ciertos aminoácidos albergan grupos cargados en sus cadenas laterales, las proteínas poseen distintas cargas eléctricas. Por lo que, según la composición de aminoácidos, cada proteína muestra una distribución de carga diferente, que también es dependiente del pH.

El punto isoelectrico (IEP) es aquel pH en el cual se tiene el mismo número de cargas positivas que negativas que aportan los grupos ionizables de una molécula, es decir, la molécula está cargada de forma neutral. En el punto isoelectrico la carga neta de las moléculas es cero. En los aminoácidos los grupos ionizables corresponden a los carboxilos, amino, fenólicos y tiólicos. El punto isoelectrico del colágeno nativo ocurre con un pH de aproximadamente 9 (EcuRed, 2020).

La gelatina tipo A posee un IEP entre 8 y 9, mientras que la gelatina alcalina (tipo B) presenta un IEP entre 4,8 y 5,4. Estas diferencias se deben a la desaminación parcial de la glutamina y asparagina, respectivamente, en ácido glutámico y ácido aspártico en el tratamiento previo alcalino de las materias primas (Gelita, 2020).

En la aplicación de la gelatina el punto isoelectrico tiene un papel importante, ya que cuánto más cerca se encuentren los valores de pH del producto final y el IEP de la gelatina, mayor será la posibilidad de turbidez o precipitación (Gelita, 2020)..

Asimismo, la fuerza gelificante hace referencia al nivel de dureza que presenta una gelatina, expresándose en grados Bloom. Por tanto, a mayor número de grados Bloom tenga la gelatina, más elevado será su poder gelificante.

Para el caso de la gelatina usada como reencolante para documentos con tintas ferrogálicas estabilizadas con fitato de calcio y bicarbonato de calcio, los especialistas del ICN sugieren como características las siguientes (Odor, 2013):

- Tipo: B.

- Calidad: alimenticia.
- Bloom: 180-220.
- pH: 6.

9.4.3.2 Pasos para aplicar el tratamiento de estabilización con fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B

A continuación, se expone todo el procedimiento a seguir en la estabilización química acuosa mediante el uso de fitato de calcio junto con bicarbonato de calcio y gelatina tipo B para lograr la restauración de documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas como elemento gráfico de la obra.

Preparación del documento: uso de soportes auxiliares

Tal y como se ha indicado, este tratamiento es del tipo acuoso y a causa de la fragilidad que los documentos consiguen al ser humectados y depositados durante tiempos prolongados en medios acuosos, es indispensable que la obra se coloque sobre soportes auxiliares, los cuales protegen al documento y facilitan la manipulación del mismo durante los distintos procesos a ejecutar.

Normalmente, suelen emplearse como soportes flexibles la malla monyl (monofilamento de nylon) o hollytex[®]. En el caso de tratar con documentos con signos leves de corrosión de la tinta, es decir, etapas ICN 1 y 2, los soportes mencionados son lo bastante adecuados para las inmersiones que implica el tratamiento. Sin embargo, para los documentos que presenten un deterioro más avanzando, etapas ICN 3 y 4, suele aconsejarse la utilización de soportes rígidos como placas de acrílico, las cuales permiten disminuir el riesgo de producir o continuar fracturas y pérdidas del material durante la manipulación del documento y su inmersión en las soluciones de estabilización (Odor, 2013).

Varios autores, entre ellos Rouchon y su equipo, subrayan la gran dificultad que supone la aplicación del tratamiento acuoso de estabilización en aquellos documentos que están profundamente dañados, debido a los riesgos que conlleva un procedimiento acuoso en papeles muy frágiles o carbonizados (Desroches, Duplat, & Rouchon, 2012). Asimismo, tal y como pudo verse en el capítulo 8 de *Diagnóstico*, el cuadro de *Opciones propuestas para el control de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel del CCI* no aconseja la aplicación de tratamientos acuosos para algunos documentos clasificados en el grupo de riesgo IV (riesgo de daño mecánico y pérdida de material).

No obstante, Rouchon y su equipo han analizado diversas alternativas para la aplicación de la estabilización acuosa y han planteado como mejor opción para documentos altamente dañados por corrosión de la tinta el método de flotación, empleando un bastidor con una malla tensa a modo de soporte auxiliar. Los resultados de la investigación son bastante buenos, ya que disminuyen notablemente el riesgo de producir un mayor daño mecánico en el documento a lo largo del tratamiento. El método se basa en colocar el documento directamente sobre la malla del bastidor y se aconseja no poner ningún soporte auxiliar (malla o similar) sobre la superficie. Asimismo, también recomienda alargar la duración del tratamiento, debido a que los intercambios químicos entre el documento y las soluciones son más lentos al llevarse a cabo por flotación, diferente a como sucede con el tratamiento tradicional por inmersión (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012).

Por tanto, el método de estabilización acuosa mediante flotación se corresponde a una última opción para la estabilización química de los documentos que presenten un deterioro tal que resulte prácticamente imposible su manipulación de forma segura, así como aquellos a los que, en general, se les propondrían solamente tratamientos de estabilización mecánica (laminación con adhesivos no acuosos reactivados) (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012).

Para la preparación del documento en el soporte auxiliar rígido, Reissland propone ligar el soporte flexible (malla monyl o hollytex[®]) al rígido (acrílico) mediante el uso de pequeños fragmentos de cinta doble cara, con el objetivo de evitar que se produzca la separación de los soportes durante la inmersión en las soluciones (Reissland, Schepper, & Fleischer, 2007). Tras ello, se acomoda el documento a restaurar y se sitúa sobre él otro soporte flexible (malla o hollytex[®]) si se considera necesario para preservar la integridad de la obra.



Figura 58. Utilización de acrílico transparente como soporte rígido durante el tratamiento acuoso de estabilización química (Odor, 2013)

Según la experiencia aportada por diversos restauradores, es interesante contar con varios soportes rígidos para así poder llevar a cabo el tratamiento de estabilización en serie. Es decir, cuando el documento es sacado del primer barreño y se introduce en el segundo, esto hará que la primera cuba quede disponible para introducir otro documento a tratar y así sucesivamente, lo que optimiza los tiempos de tratamientos al intervenir varias hojas de manera simultánea. Además, es aconsejable que al terminar con todas las etapas del procedimiento se deje reposar durante un tiempo al documento estabilizado sobre el acrílico hasta lograr que se haya secado levemente; ello permitirá que se eviten posibles tensiones o fracturas en el papel (Odor, 2013).

Humectación previa con agua-alcohol

A consecuencia de la degradación de la celulosa, al encontrarse más dañado el documento por la corrosión de la tinta, la humectación del mismo durante los tratamientos acuosos es más heterogénea y arriesgada que en aquellos documentos con unas mejores condiciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, un paso bastante recomendable es la pre-humectación con agua-alcohol, con el objetivo de conseguir una humectación más homogénea y disminuir los riesgos de provocar fracturas o pérdida de material a causa de las tensiones diferenciales en el documento. La propensión al uso de alcohol se debe a su capacidad para romper la tensión superficial del agua, lo cual ayuda a que ésta penetre más rápidamente en las zonas hidrofóbicas del documento. Generalmente, se utiliza la proporción 1:1, pero puede realizarse un ajuste de la misma si es necesario obtener una humectación más homogénea. Así, en diferentes casos con oxidación muy diferencial o con regiones muy carbonizadas, se han empleado soluciones agua-alcohol de 1:2, dando mejores resultados (Odor, 2013).

La humectación previa se hará sobre el soporte auxiliar seleccionado, ya sea flexible, rígido o ambos, facilitando de este modo su aplicación y manejabilidad.

Lavado acuoso

El lavado acuoso es uno de los pasos más importantes en el tratamiento acuoso de estabilización química, debido a que con él se eliminan la mayoría de los iones libres de hierro y la acidez del documento (gracias a su gran solubilidad).

Reissland y Eusman mencionan que para que los tratamientos acuosos tengan una correcta efectividad, el método de aplicación es crucial para dicho objetivo. Además, se indican que cuanto más agua se emplee en el lavado, mayor cantidad de productos solubles de degradación y más iones de hierro y acidez se eliminarán; por lo que conforme el procedimiento avance a pasos posteriores, más exitoso será el tratamiento (Reissland, 2000). Por ello, el tratamiento acuoso de estabilización química será más efectivo si se llevan a cabo todos los procesos de inmersión, a pesar que en el caso de tener documentos muy dañados se aconsejen también la utilización de la mesa de succión y los tratamientos por flotación (Desroches, Duplat, & Rouchon, 2012).

De esta forma, es más adecuado llevar a cabo varios lavados por inmersión con un nivel bajo de agua que ejecutar un solo lavado con mucha cantidad de agua, inclusive aquellos documentos con niveles de corrosión muy avanzada (etapas ICN 3 y 4), cubriendo muy poco al documento, evitando así que flote o se mueva demasiado en la tina de lavado. El uso de un soporte auxiliar rígido situado bajo el documento permite reducir los riesgos de daño mecánico al someterlo a tratamientos acuosos durante tiempos prolongados (Odor, 2013).

Para efectuar todos los pasos de la estabilización acuosa por flotación en documentos gravemente dañados, es interesante tener en cuenta la propuesta de Rouchon sobre emplear un bastidor con una malla tensa como soporte, ya que si se hiciera de otra manera los documentos con elevado grado de deterioro no serían considerados como candidatos para una estabilización acuosa (Reissland, 2000).

En el caso de que el documento se encuentre muy deteriorado a causa de la corrosión de la tinta que contenga o si la oxidación que muestre es muy diferencial, también puede valorarse la adición de alcohol al agua de lavado; de esta forma, además de la pre-humectación del documento, se logra disminuir la probabilidad de riesgos por generación de fracturas en las regiones más débiles e hidrofóbicas (Botti, Mantovani, & Ruggiero, 2005). Al escoger dicha opción, debe tenerse en cuenta que cuánto más alcohol haya en las soluciones acuosas durante el procedimiento, menor será el grado de eliminación de hierro y ácido (Reissland, 1999). Por lo tanto, no es recomendable superar el 50% de alcohol en cualquiera de las soluciones acuosas usadas a partir de este paso. Asimismo, es preciso reparar que diversos componentes de la tinta (por ejemplo, entonantes a base de anilinas) pueden ser más solubles en alcohol que en agua, por lo que será necesario tener evaluado la composición de la tinta para evitar problemas y daños en la obra (Reissland, 2000).

El lavado acuoso suele tener una duración de 15 a 30 minutos, llevando a cabo la renovación constante de agua para que sea más efectivo. Normalmente, suele recomendarse designar al menos dos barreños para esta fase del procedimiento, por lo que ello facilita el cambio de agua si fuera necesario, así como agilizar el procedimiento. Con este método para estabilizar documentos, suelen realizarse dos lavados de 10 minutos cada uno (pudiendo incluso hacer un tercer lavado de 10 minutos si fuera necesario), empleando agua-alcohol 1:1 en la primera cuba y solamente agua en la segunda, eliminando la mayor cantidad posible de productos solubles.

Para poder tener un conocimiento pleno de grado de efectividad del proceso, y por consiguiente la duración del proceso de lavado, se puede llevar a cabo un monitoreo cada 10 minutos de la concentración aproximada de iones libres de hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}) en el documento mediante la prueba del papel indicador de iones solubles de hierro.

Puede destacarse que tras el lavado acuoso, la concentración aproximada de iones libres de hierro (II) suele bajar un nivel en la *Tabla de color para la prueba de iones de hierro (Fe^{2+})* del ICC. Es decir, si previo al lavado la concentración aproximada de iones de hierro es de 50 ppm, posterior al lavado acuoso de máximo 30 minutos, la concentración será de 25 ppm respectivamente. No obstante, esto no debe tomarse como una regla fija para aplicar en todos los casos de

estabilización ni ocurre de igual forma en todos los trabajos ya que cada documento u obra tiene características particulares. A pesar de ello, Odor menciona que al estabilizar varios tipos de documentos con tintas ferrogálicas con más de 25 ppm de iones libres de hierro (II) suele suceder y que será de utilidad conocerlo de antemano por si este patrón continúa en futuras estabilizaciones (Odor, 2013).

Estabilización de iones de hierro con fitato de calcio

Tras realizar el lavado acuoso, lo que conlleva a la eliminación de la mayoría de los iones libres de hierro que el documento contenía en exceso (así como el ácido sulfúrico y otros productos solubles de degradación), se pasa a ejecutar la estabilización química de aquellos iones de hierro, tanto los de Fe^{2+} como Fe^{3+} , que no pudieron ser eliminados en dicho lavado.

Es importante subrayar que en el caso de no llevar a cabo el paso de lavado antes de la estabilización con fitato de calcio en un documento con tinta ferrogálica con una concentración de iones aproximada de más de 25 ppm, lo más seguro que ocurra es que el fitato de calcio no sea suficiente para estabilizar al hierro en su totalidad. Por ello, el lavado acuoso se efectúa como paso previo y es indispensable a lo largo de la estabilización química de la tinta.

Como se comentó en el apartado 9.4.1.1, los iones de calcio procedentes del fitato se intercambian por los iones libres de hierro (II y III), produciéndose fitatos de hierro muy estables y que no tienen la capacidad de catalizar la oxidación de la celulosa del papel. Estos fitatos de hierro presentan un color blanco y son parcialmente solubles, por lo que efectuar un lavado posterior favorece a su eliminación con mayor facilidad. Asimismo, el abatimiento de los fitatos de hierro permite reducir el riesgo de originar depósitos blancos en la superficie del documento (Neevel, 2002).

El fitato de calcio se encarga de estabilizar esencialmente al hierro, por lo que esto resulta en una clara desventaja para su aplicación en aquellos documentos que contengan tintas con exceso de otros metales distintos al hierro. Sin embargo, el fitato de calcio sí es capaz de intercambiar iones con otros metales de transición, como es el caso del cobre, por lo que resulta ventajoso en aquellas tintas ferrogálicas en las que además de hierro también hubiera cobre en su composición. Neevel señala que los fitatos de cobre creados no son tan estables como los de hierro pero que tienen como ventaja una mayor solubilidad que el cobre en forma iónica; por lo tanto, al aplicar un lavado acuoso tras el tratamiento de fitato de calcio, el cobre (unido al fitato) podría eliminarse con mayor facilidad (Odor, 2013).

Al igual que ocurría con el lavado acuoso, puede añadirse alcohol a la solución de fitato de calcio para disminuir el riesgo de provocar fracturas en las áreas más débiles del documento, si éste se encuentra muy dañado por corrosión de la tinta o si la oxidación que posea es muy diferencial. Si se decide realizar dicha acción, debe tenerse en cuenta que cuanto más alcohol haya en la solución, menor será la eliminación de hierro y ácido. Por tanto, se vuelve a recomendar no superar el 50% de alcohol en la solución. Así como manipular el documento en un soporte auxiliar en todo momento, con la finalidad de mermar los riesgos de originar fracturas o pérdida de material en el soporte.

La inmersión en la solución de fitato de calcio no debe superar los 30 minutos, de acuerdo a lo aconsejado por los especialistas del ICN (Reissland, Schepper, & Fleischer, 2007).

Tal y como se especificaba en el apartado anterior, para la determinación de la efectividad del proceso de estabilización con fitato de calcio se puede monitorear la concentración de forma aproximada de los iones libres de hierro en el documento cada 10 minutos mediante el uso del papel indicador de iones solubles de hierro. Si tras un periodo de tiempo de 30 minutos, la concentración de iones de hierro no ha alcanzado el nivel deseado, es decir, 1 ppm o menos, el tratamiento debe ser suspendido.

Ciertos expertos mencionan que una duración de 10 minutos del tratamiento suele ser suficiente para lograr una concentración de iones solubles de hierro (II y III) de 1 ppm o menos. No

obstante, en otros casos es necesario tiempo de inmersión de 20 minutos en la solución de fitato de calcio (Odor, 2013).

Lavado acuoso opcional

La finalidad de este lavado acuoso tras la estabilización química de los iones de hierro con fitato de calcio se realiza principalmente para eliminar los fitatos de calcio restantes y los de fitatos de hierro producidos, para así evitar la formación de depósitos blanquecinos sobre la superficie de papel. No obstante, Reissland señala que permitir un exceso de quelante (fitato de calcio) en el documento después del proceso puede actuar como una reserva antioxidante a largo plazo (Reissland, 1999).

Por tanto, si se toma la decisión de ejecutar el lavado, es aconsejable utilizar agua que contenga muy pocas impurezas (no usar destilada ni desionizada) y que tenga una duración de no más de 5 minutos. Estas especificaciones se deben a que el documento ya ha pasado por una estabilización química y por la eliminación de la mayoría de las impurezas englobadas en el mismo (Reissland, 2000).

Asimismo, si el documento patrimonial alberga una tinta con cierto contenido en cobre, ya sea a modo de impureza o como componente de la misma pero en menor cantidad que el hierro, el lavado tras la inmersión en el fitato de calcio favorecerá al documento enormemente, puesto que beneficia a su eliminación.

Generalmente, el agua de lavado suele estar purificada, con el fin de evitar la incorporación de cualquier tipo de impureza al documento y suele realizarse en tiempos que van desde los 3 a 5 minutos.

Desacidificación con bicarbonato de calcio

Como se ha podido apreciar en los pasos previos, la mayor parte del ácido presente en el documento ha sido eliminado junto con los iones libres de hierro. Sin embargo, es necesario llevar a cabo una desacidificación para completar la neutralización de dicha acidez, la cual es producida por las tintas que tienen un exceso de sulfato ferroso.

Para dicha desacidificación se opta por el bicarbonato de calcio, puesto que presenta como ventaja que al secarse en el soporte de papel no logra superar un valor de 8,5 de pH. Por ello, resulta bastante beneficioso ya que la tinta ferrogámica se vuelve inestable ante un pH superior a 9 (Reissland, 2000).

Para que este proceso resulte efectivo suele recomendarse llevarlo a cabo por inmersión del documento y que tenga una duración entorno a 20 y 30 minutos. Normalmente, suele ser suficiente tiempos de 15 o 20 minutos de inmersión en la solución de bicarbonato de calcio, ya que tras ese periodo se obtiene un pH de 8-8,4 en el soporte de papel y de 6,7-8 en la tinta (Odor, 2013).

Asimismo, es interesante destacar que los especialistas del ICN mencionan que, en algunos casos, pueden originarse burbujas en el interior de la cuba al introducir el documento en la solución de bicarbonato de calcio, siendo de vital importancia poner especial cuidado con aquellos documentos que muestren un gran daño (Reissland, Schepper, & Fleischer, 2007).

Pre-secado

Antes de realizar la aplicación del reencolante en el documento estabilizado, es necesario llevar a cabo un pre-secado tras los tratamientos acuosos. Dicho paso permite eliminar el exceso de agua entre las fibras del soporte y, por tanto, que posteriormente se absorba adecuadamente el adhesivo usado como reencolante (normalmente gelatina tipo B).

El pre-secado puede realizarse de varias maneras, seleccionando la mejor forma según el estado de degradación que tuviera el documento. Generalmente, suele ser suficiente poner una malla monyl, hollytex® o algún otro soporte similar sobre el documento y, posteriormente, situar sobre ella un papel secante para presionar ligeramente y que éste absorba el exceso de agua. Otra posible alternativa es dejar que el documento estabilizado se seque al aire libre durante unos minutos, siendo esta forma mucho menos arriesgada que la primera.

En el caso de tener que realizar el secado de un documento estabilizado mediante flotación, debido a su avanzado estado de corrosión de la tinta, Rouchon aconseja que se ejecute el secado al aire libre sobre el bastidor empleado durante los tratamientos. Asimismo, si fuera necesario, podría colocarse el bastidor sobre un papel secante pero sin que éste llegue a tocar la superficie del documento (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012).

Reencolado con gelatina tipo B

A causa de los tratamientos acuosos, es lógico que el documento haya perdido el encolante original que poseía. Por ello, es imprescindible realizar la aplicación de un nuevo encolante, el cual le otorgue de nuevo la cohesión y resistencia que el soporte albergaba.

Entre los diversos reencolantes el más destacado es la gelatina tipo B, aunque también puede ser la metil celulosa; sin embargo, este adhesivo no posee la ventaja de inmovilizar a los iones de hierro que todavía pudieran estar presentes en el documento tras el tratamiento, tal como hace la gelatina tipo B.

El reencolado puede realizarse mediante el uso de una bocha, por aspersión o por inmersión, siendo estas dos últimas opciones las que facilitarían producir capas más uniformes. Generalmente, se aconseja su utilización al 0,5-1% en agua. No obstante, la concentración del reencolante puede variar según el estado en el que se encontrara el documento patrimonial. Tal es el caso de documentos muy dañados a causa de ataques por microorganismos, presentando un soporte considerablemente laxo, por lo que se obtuvieron excelentes resultados incrementando la concentración del Reencolado hasta un 2% (Odor, 2013).

En aquellas restauraciones en las que se decide poner un laminado en el documento tras los tratamientos de estabilización, no es indispensable la aplicación del reencolado, puesto que el adhesivo del laminado y del nuevo soporte auxiliar satisfacen la función de estabilizar mecánicamente el documento, si bien esto y la elección del adhesivo a emplear queda a elección del técnico de laboratorio en cada caso (Odor, 2013).

Tratamientos adicionales

El tratamiento acuoso de estabilización química se efectúa normalmente en aquellos documentos que precisan de algún otro tratamiento acuoso, como refuerzos, laminados o fumigaciones, y donde el exceso de iones metálicos y acidez no posibilitan realizarlo pues conlleva el incremento del riesgo de migración de los iones de hierro y del ácido a todo el documento, desembocando en la extensión de su deterioro.

Después de todo el proceso de estabilización química del documento patrimonial, pueden realizarse otra serie de tratamientos, ya que los riesgos de provocar mayores daños han desaparecido gracias a que el exceso de iones de hierro y de ácido han sido eliminados, estabilizados y neutralizados.

No obstante, diversos investigadores sugieren emplear mejor adhesivos u otros métodos que restrinjan el uso de agua para estos tratamientos, como puede ser el caso del Klucel G® reactivado con alcohol. Asimismo, otros expertos se decantan por usar la gelatina tipo B como adhesivo, necesitando utilizar mayores concentraciones que en el reencolado expuesto. También, la metodología descrita por Charles y Kotze en la que se explica la utilización de la gelatina tipo B en frío como adhesivo es desarrollada por algunos conservadores en la restauración de

documentos con tintas ferrogálicas (Reissland, Schepper, & Fleischer, 2007).

Secado

Según el modo de secado escogido para aplicar en los documentos que fueron sometidos a la estabilización química acuosa la reducción de riesgos de daño mecánico será mayor o menor, principalmente en aquellos documentos más deteriorados. En el caso de que el secado no se ejecute de forma controlada o se aplique demasiada presión, pueden producirse más fracturas o pérdidas de material que a lo largo de todos los procesos acuosos desarrollados previamente (Rouchon, Desroches, Duplat, & Letouzey, 2012).

Tal y como se aconsejaba al comienzo del tratamiento de estabilización, el secado debe ser controlado y homogéneo. Desroches menciona que el secado es uno de los principales factores de riesgo para los documentos con corrosión de la tinta a niveles muy avanzados de deterioro, por lo que propone la utilización de fieltros y un peso ligero para el secado de documentos estabilizados por flotación a causa de su avanzado estado de degradación (Desroches, Duplat, & Rouchon, 2012).

Generalmente, la mayoría de los documentos estabilizados pueden secarse por presión, entre fieltros o con papeles secantes y situando un peso ligero sobre ellos, ya que el empleo de prensas o un excesivo peso daría lugar a beneficiar la formación de fisuras o pérdidas del soporte. Con frecuencia, no se aconseja el secado por tensión para este tipo de documentos, debido a que suelen presentar zonas frágiles (como trazos carbonizados junto a zonas con papel en buenas condiciones); sin embargo, si se valora cada caso, hay situaciones en las que es posible usar dicho método. Por último, como otra alternativa más para el secado tras la estabilización acuosa es con una mesa de succión, teniendo siempre en consideración que la fuerza de la succión no sea tan elevada como para poner en riesgo de las regiones más dañadas del documento (Odor, 2013).

9.4.3.3 Recomendaciones para la minimización de riesgos durante la estabilización química acuosa con fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B

A modo de resumen, a continuación se indican varias medidas para tratar de minimizar, en la medida de lo posible, aquellos posibles riesgos esenciales que un tratamiento acuoso de estabilización química para tintas ferrogálicas puede acarrear. Estas disposiciones se aglomeran en tres grupos:

- Para prevenir o reducir el sangrado de la tinta, así como los posibles cambios de color en la misma o en el soporte de papel, se aconseja lo siguiente:
 - Mantener un pH entre 5-8,5 a lo largo de todo el tratamiento, incluido el secado (Reissland, 1999).
 - Intentar evitar la desacidificación con sales de magnesio (Reissland, 2000).
 - Favorecer que el tiempo de inmersión en las soluciones puede reducirse al mínimo indispensable con el fin de lograr los objetivos de la intervención. A mayor tiempo de inmersión en las soluciones, más cambios suelen producirse en el color de la tinta (Rouchon & Durocher, 2006).
 - Evitar, en la medida de lo posible, el uso de agua destilada o desmineralizada mientras los lavados acuosos se desarrollen (Reissland, 2000).

- Con el objetivo de soslayar la formación o continuidad de las fracturas y pérdida del material en aquellas regiones del documento con mayor daño, se indica que:
 - Pre-humectación del documento con agua-alcohol para que la absorción del agua se haga de forma homogénea y controlada.

- Usar soportes secundarios, ya sean flexibles y/o rígidos, para facilitar la manipulación del documento desde el primer momento del tratamiento (comenzando con la pre-humectación y finalizando en la etapa de secado) (Desroches, Duplat, & Rouchon, 2012).
- Adición de alcohol en las soluciones utilizadas en el procedimiento si se estima oportuno, no llegando a sobrepasar más del 50% (Reissland, 2000).
- Para impedir la formación de depósitos en la superficie del documento a tratar, se sugiere:
 - Decantar las soluciones preparadas de fitato de calcio y bicarbonato de calcio antes de su aplicación para que no contengan sales precipitadas (Reissland, 2000).
 - Realizar variaciones continuadas de los papeles secantes o de los fieltros, así como emplear una mesa de succión, favoreciendo todo ello a que el secado sea relativamente rápido y así evitar la generación de cristales en la superficie.

9.5 Estabilización mecánica

Con independencia de la necesidad que pueda presentar un documento patrimonial acerca de una estabilización química, en numerosas ocasiones es preciso realizar una estabilización mecánica con el objetivo de recuperar la resistencia mecánica que la obra haya podido perder con el paso del tiempo a causas de diferentes factores: ataques de microorganismos e insectos, pérdida del material por corrosión de la tinta, roturas, desgarros, etc. Estos tratamientos de estabilización mecánica, así como sus efectos a largo plazo, no han sido estudiados tan a fondo como los de estabilización química, pero pueden dividirse también en acuosos y no acuosos. Asimismo, tal y como se comentó en el apartado anterior, la estabilización mecánica podrá ser aplicada de forma independiente o tras el tratamiento de estabilización química (Gersten, 2011).

9.5.1 Estabilización mecánica acuosa

La estabilización mecánica contempla el tratamiento del documento mediante el uso de refuerzos, injertos, laminados o cualquier otro tipo de refuerzo estructural. Entre los adhesivos más utilizados en la actualidad para la restauración del papel se encuentran el almidón (esencialmente de trigo) y la metil celulosa. Ambos se caracterizan por presentar un buen poder adhesivo, así como una buena compatibilidad con los soportes de papel, reversibilidad y estabilidad a largo plazo. Son dos adhesivos elaborados con agua, por lo que su aplicación en documentos con tintas ferrogálicas como elementos gráficos es medianamente limitada a causa de la posible eventualidad de provocar la migración de los iones de hierro y del ácido sulfúrico que el documento o manuscrito pudiera presentar en exceso (Odor, 2013).

Por tanto, el empleo de este tipo de adhesivos en documentos con tintas ferrogálicas con exceso de hierro no es recomendable, a no ser que se haya llevado a cabo un tratamiento previo de estabilización química de la tinta, para así garantizar que no existirá un exceso de iones Fe^{2+} o acidez que pudieran trasladarse de una región a otra del soporte durante la aplicación del tratamiento.

En aquellos casos en los que las tintas ferrogálicas no contengan un exceso de iones de hierro y acidez sí es factible el uso de adhesivos acuosos, a pesar de no realizar previamente una estabilización química. Asimismo, dichos adhesivos pueden seleccionarse también para reforzar

aquellas áreas del documento que no presenten información escrita, como pueden ser los márgenes o el espaciado entre un párrafo u otro.

No obstante, no solamente pueden utilizarse el almidón y la metil celulosa como adhesivos en ese último caso, sino que también existe la posibilidad de utilizar la gelatina tipo B, principalmente para la aplicación de refuerzos e injertos. Dicha gelatina, es la misma que se usa para el reencolado final del tratamiento de estabilización química con fitato de calcio, tal y como se vio en el apartado de estabilización química acuosa; utilizándose para aprovechar su capacidad de formar complejos con los iones de hierro que aún pudieran haber quedado libre en el documento.

Si se elige a la gelatina como adhesivo acuoso para la colocación de refuerzos o injertos, puede elaborarse a concentraciones similares a las que generalmente se utilizan con el resto de los adhesivos acuosos para dicho fin, es decir, entre el 3 y 5 %. La gelatina tipo B, a diferencia de otros adhesivos, precisa que su aplicación se haga a una temperatura tibia, ya que a concentraciones superiores del 1% suele comenzar a enfriarse a temperatura ambiente. Por ello, para conseguir que la temperatura sea la más idónea para su aplicación, debe ser calentado en baño maría o sobre una platina hasta lograr la textura deseada. Sin embargo, varios conservadores y especialistas, entre los que se encuentra Reissland, exponen la posibilidad de utilizar la gelatina tipo B en frío mediante el procedimiento previo de hacerla pasar varias veces por un colador para así obtener un gel más suave que facilite su aplicación en el papel (Odor, 2013).

Otra posibilidad de tratamiento consiste en la preparación de papeles japoneses con una capa de adhesivos acuosos, los cuales pueden reactivarse posteriormente al añadir una cantidad pequeña de agua o incluso mezclas de agua y alcohol. La utilización de adhesivos reactivados es conocido desde la década de los 80 y, desde entonces, se han empleado en la restauración de documentos con diferentes adhesivos y para distintos procesos (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011).

Entre las numerosas ventajas de utilizar papeles previamente preparados con el adhesivo a reactivar se encuentran:

- Posibilidad de controlar mucho más la cantidad de agua o solvente a emplear (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011).
- Permite crear una capa de adhesivo mucho más homogénea que en aquellos casos en los que se realiza aplicaciones directas del adhesivo con brocha o pincel.
- El procedimiento de restauración se puede llevar a cabo con mucha más precisión (Titus, Schneller, Huhsman, Hähner, & Banik, 2009).
- Se minimizan los riesgos de provocar la migración de cualquier componente de la tinta, así como el de generar manchas, frentes de secado o deformaciones gracias a la elevada controlabilidad del proceso.

No obstante, existe una segunda alternativa de estabilización mecánica, la cual suele presentar menos riesgos para el documento patrimonial y es la más recomendada en casos específicos de no poder realizar tratamientos previos por las características de la obra. En el siguiente apartado se expone la estabilización mecánica no acuosa más detalladamente.

9.5.2 Estabilización mecánica no acuosa

Para aquellos documentos con tintas ferrogáficas que precisen de una estabilización mecánica, ésta puede realizarse mediante el uso de adhesivos acuosos, como los indicados en el apartado anterior, y a través de tratamientos no acuosos.

Dichos tratamientos son muy recomendables cuando no es factible o no se considera necesario

llevar a cabo una estabilización química de la tinta, pero sí es preciso realizar un tratamiento de refuerzo mecánico de forma local. Esto sucede cuando el soporte a restaurar contiene tintas con componentes solubles en agua, está encuadernado o no es posible desglosar el volumen para reforzarlo o cuando el documento presenta un estado de degradación por corrosión de la tinta tan avanzado (altamente carbonizado); por lo que la aplicación de tratamientos acuosos significaría más riesgos de daños que beneficios para el soporte de papel (Odor, 2013).

Una de las alternativas más utilizadas para la estabilización mecánica es el uso de papeles preparados con Klucel G[®] y reactivados posteriormente con solventes orgánicos, especialmente alcohol etílico o mezclas de éste y acetona. Esta opción se ha empleado desde la década de los 90 para la restauración de soportes de papel, tal que papeles translúcidos y recientemente se ha estado investigando más sobre su aplicación y dando satisfactorios resultados en documentos con tintas ferrogáficas (Page, 1997).

Una de las principales ventajas que tiene el empleo de Klucel G[®] para estos procedimientos es su solubilidad en agua así como en diferentes solventes orgánicos (etanol, acetona y tolueno) (Page, 1997). Como es un adhesivo no acuoso, ello permite que pueda aplicarse de manera local en documentos con tintas ferrogáficas, disminuyendo los riesgos de originar la migración de los componentes de la tinta o fracturas por una humectación diferencial, además de deformaciones en el soporte como sucede con la aplicación de adhesivos acuosos de forma parcial (Martin & Rouchon, 2011). Además, como su secado es más rápido que el de los adhesivos acuosos, facilita una mayor limitación en la migración de cualquier componente de la tinta (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011)

No obstante, como principal desventaja puede resaltarse el color amarillento que puede adquirir con el tiempo, así como indicar que su poder adhesivo no es tan bueno como el de otros éteres de celulosa (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011). A pesar de ello, muchos especialistas restauradores señalan que la adhesión ofrecida por Klucel G[®] es más que suficiente para la colocación de refuerzos, injertos y laminados en soportes de papel de diferente tipo, formato y textura; siempre y cuando el procedimiento a ejecutar contemple la correcta identificación de la concentración necesaria para cada caso, además de colocar suficiente peso y distribuirlo de manera homogénea durante el secado del adhesivo, lo cual permitirá una correcta adhesión al emplear dicho compuesto restaurativo (Odor, 2013). Respecto al amarillamiento que adquiere tras el paso del tiempo, Feller expone que tras el aplicado en forma de películas delgadas, el Klucel G[®] no muestra prácticamente ningún cambio de color, igual que ocurre con otros éteres de celulosa. Asimismo, Page señala que aquello que presenta un cambio de color es el polvo del adhesivo sin preparar pero no en las capas de éste una vez preparado y aplicado (Page, 1997).

Así, la preparación del papel japonés con la capa específica de Klucel G[®] es bastante sencilla, aunque precisa de cierto tiempo, puesto que requiere aplicar varias capas mientras se deja un periodo de secado entre una y otra. Existe la posibilidad de dejar preparado varios pliegos de distintos grosores y almacenarlos para su utilización posterior, por lo que la aplicación de dicho papel ya dispuesto es muy rápida y sencilla.

Aparte de lo anterior, es importante indicar que en diversas investigaciones recientes, se pudo detectar la migración de los iones Fe²⁺ tanto en la aplicación de adhesivos acuosos como en los casos en los que se empleó Klucel G[®] reactivado con alcohol. Los autores de dichos estudios atribuyen esa migración al 4% de agua que contenía el alcohol que usaron y al transporte de los iones de hierro durante la migración de varios compuestos de la tinta solubles en alcohol, como es el ácido gálico o ciertos colorantes (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011). Por tanto, es necesario tener en cuenta que, a pesar de ser un tratamiento no acuoso y siendo mucho más controlado que los procedimientos acuosos, su empleo normalmente conllevará el riesgo de provocar la migración de los componentes de la tinta, por lo que exige que su aplicación no se lleve a cabo de forma indiscriminada.

Por tanto, su utilización debe ser justamente evaluada, fundamentada y totalmente necesaria, tal y como sucede con cualquier otro tratamiento de restauración.

Hasta la actualidad, la utilización de Klucel G® reactivado con alcohol ha dado los mejores resultados para la estabilización mecánica de documentos con tintas ferrogálicas, principalmente en lo referente a la limitación de la migración de iones de hierro y acidez. Sin embargo, tanto el método de aplicación, la cantidad y calidad del solvente usado, como la técnica y velocidad de secado, serán las principales características determinantes en la magnitud de la migración de los iones de hierro y del ácido sulfúrico de las tintas ferrogálicas en los documentos u obras estabilizadas (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011).



Figura 59. Documento con corrosión de la tinta antes y después del tratamiento de estabilización mecánica no acuosa (Odor, 2013)

Observando la gran variedad de posibilidades para la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas, tanto mecánica como química, es de vital importancia que el técnico o restaurador encargado del tratamiento deba tener la capacidad, experiencia e información necesaria para evaluar todos los riesgos, ya sean actuales y futuros, que el procedimiento a realizar represente en la obra a intervenir. Incluso empleando los tratamientos más recomendados y estudiados en profundidad, además de seguir paso a paso las directrices de los expertos, si el procedimiento seleccionado no es el más conveniente para el documento a intervenir, dará lugar a que los resultados que se obtengan sean diferentes a los esperados y, tal vez, en perjuicio de la conservación del documento.

Por lo tanto, indistintamente de los métodos aplicados en cada caso, las medidas esenciales de conservación preventiva se administran para todos los documentos con tintas ferrogálicas; lo cual asegurará en gran medida su estabilidad química y mecánica a largo plazo. Dichas disposiciones se describen en el capítulo de *Prevención y conservación* y, como se ha ido comentando a lo largo de todo el proyecto, deberán ser la prioridad principal para enfrentarse a cualquier tipo de documento, en especial aquellos con tintas ferrogálicas.

9.5.3 Materiales, procedimiento y recomendaciones para estabilización mecánica con Klucel G® reactivado con solventes

La estabilización mecánica con Klucel G® se basa en la preparación de un papel japonés (especial para la restauración de documentos, hojas de libros y otros objetos de papel debido a las fibras largas que tiene) con una lámina de dicho adhesivo en una de sus caras, para posteriormente ser reactivado con solventes orgánicos. Gracias a ello, se evita el aporte de humedad al documento a lo largo de los tratamientos de estabilización mecánica.

9.5.3.1 Materiales utilizados en los tratamientos de estabilización mecánica con adhesivos reactivados

Papel

Normalmente, los papeles usados en los tratamientos de estabilización mecánica de documentos con tintas ferrogálicas a través de la reactivación de adhesivos con solventes orgánicos resultan ser los mismos que se utilizan en la restauración de soportes de papel, siendo la mejor opción el papel japonés, el cual es el más común y usado, ya que tiene una prominente calidad, una buena estabilidad a largo plazo y una gran resistencia.

Los papeles japoneses suelen elaborarse principalmente con tres tipos de fibras: *kozo*, *mitsumata* y *gampi*. De ellas, las fibras que más suelen estar presente en los papeles utilizados en la restauración de materiales documentales son las fibras de *kozo*, puesto que albergan una elevada resistencia. Sin embargo, en varios casos específicos, se emplean papeles con fibras de *mitsumata* o *gampi*, debido a que aportan otra serie de características, como es una mayor transparencia.

En Europa, suele destacarse el empleo del papel *Berlin Tissue* para el refuerzo de aquellos documentos que contienen tintas ferrogálicas. Dicho papel se caracteriza por estar fabricado con un 70% de fibras de *mitsumata* y un 30% de fibras de *kozo* de 2g/m², además de presentar una gran transparencia y ser sumamente resistente (Titus, Schneller, Huhsmann, Hähner, & Banik, 2009).

Para la preparación del papel destinado a los refuerzos, se tiende a emplear el papel japonés de 100% de fibras de *kozo*, debido a que su adquisición es más sencilla que aquellos papeles *Berlin Tissue*, además de que permiten obtener muy buenos resultados para la elaboración de los soportes con la capa de adhesivo a reactivar. Para los refuerzos los papeles de 5 g/m² permiten obtener una alta transparencia, incluyendo en su aplicación sobre los trazos; mientras que para ejecutar laminados puede ser suficiente los papeles de 5 o 9 g/m² para documentos de formatos más regulares como tamaño carta u oficio.

Adhesivo

El adhesivo que mejores resultados ha aportado para la estabilización mecánica mediante la reactivación del mismo en documentos con tintas ferrogálicas ha sido el Klucel G[®] (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011).

El Klucel G[®] es un éter de celulosa (hidroxipropil celulosa) que se caracteriza principalmente por su solubilidad en agua, así como en diversos solventes orgánicos polares (como el alcohol y la acetona). Gracias a dicha peculiaridad, la solubilidad del Klucel G[®] en agua se aprovechará para la preparación del papel japonés con la capa de adhesivo, entretanto que su solubilidad en algunos solventes será utilizada para su reactivación y adhesión al documento a estabilizar.

Suele ser insoluble en muchos solventes orgánicos apolares, siendo además compatible con gomas naturales, almidones y emulsiones acrílicas y vinílicas. El Klucel G[®] no alberga plastificantes y permite su reversibilidad en agua después del secado (CTS, 2020). Asimismo, es un termoplástico que solidifica formando una película flexible y es estable hasta los 40°C, sin que pueda apreciarse una variación de viscosidad. Presenta una adecuada estabilidad al biodeterioro, compatible con varios pH y tiene excelentes propiedades filmógenas, por lo que al solidificar forma una película flexible sobre la superficie en la que fue aplicado (GE, 2020).

La preparación del papel japonés con el adhesivo se basa en la disposición de un mylar[®] (película de poliéster o lámina de plástico hecha de resina de tereftalato de polietileno) en la mesa de trabajo con cinta de carroceros por el reverso para evitar que se mueva durante la aplicación de las capas de adhesivo. Tras ser fijado, debe pasarse una borla de algodón humedecida con alcohol (etanol por la superficie que recibirá las láminas de Klucel G[®] y dejar que se seque por completo. Posteriormente, se lleva a cabo la aplicación con una brocha delgada (*Tsukemawashi* o similar) de las capas de Klucel G[®] deseadas sobre el mylar[®], tratando de asegurar que sean lo más

homogéneas posible y dejando un periodo de secado completo entre la aplicación de una capa y otra. Justo después de aplicar la última capa de adhesivo, y antes de que se seque por completo, se debe colocar encima el papel japonés; comenzando por uno de los extremos del mismo y realizando una ligera presión con una brocha gruesa y seca (*Noribake* o similar) para garantizar que el contacto papel-adhesivo se haga satisfactoriamente. Como último paso se deberá dejar secar el conformado de papel japonés y mylar® por completo. Tras ello, si el papel no va a ser utilizado de forma inmediata, es aconsejable almacenar el papel japonés adherido al mylar®, protegiendo de esta manera al adhesivo. En el caso de que vaya a emplearse de forma inminente, deberá separarse el mylar® mientras se mantiene en paralelo lo más posible con el papel y se obtendrá un papel japonés con una cara lisa y brillante, compuesta por las capas de Klucel G® deseadas (Odor, 2013).

Solvente

Tras haber elaborado el papel japonés con la lámina de Klucel G® en una de sus caras, el adhesivo será reactivado con diversos solventes polares, de los cuales los más empleados son el etanol, acetona o una mezcla de ambos (Martin & Rouchon, 2011).

Investigadores como Page señalan la utilización de etanol o mezclas de alcohol-acetona para la reactivación de Klucel G® para el tratamiento de papeles translúcidos (Page, 1997). Por otro lado, Jacobi indica el empleo de alcohol etílico grado técnico (96%), particularmente para la reactivación del adhesivo a lo largo de la estabilización mecánica de documentos con tintas ferrogáficas. Sin embargo, Jacobi expone en sus resultados una ligera migración de iones metálicos y ácido sulfúrico al usar alcohol etílico grado técnico. A pesar de ello, dicha migración es bastante menor que la que sucede cuando se utilizan adhesivos acuosos y puede disminuirse más aún según la técnica seleccionada para su aplicación (Jacobi, Reissland, Phan-Tan-Luu, & Velzen, 2011).

Asimismo, Martin y su equipo establecen que el Klucel G®, en aquellos documentos con tintas ferrogáficas, debe reactivarse con alcohol etílico absoluto (>99,5%) y no con alcohol etílico grado técnico como normalmente se hace, ya que el 4 o 5% de agua que contiene puede provocar una cierta migración de iones metálicos y del ácido sulfúrico aportados por tintas desbalanceadas (Martin & Rouchon, 2011).

9.5.3.2 Pasos para aplicar los tratamientos de estabilización mecánica con adhesivos reactivados

Refuerzos e injertos

Los refuerzos se fundamentan en el uso de tiras de papel japonés de menor grosor que el soporte original, los cuales se adhieren al documento para unir roturas o recuperar la estabilidad mecánica en zonas débiles o fracturadas. Por otro lado, los injertos son fragmentos de papel japonés de grosor igual o similar al documento patrimonial, que se sitúan en las regiones que carecen de papel original, brindándole de esta forma una mayor estabilidad mecánica y una adecuada unidad visual a la obra.

Una vez que se tiene preparado el papel japonés con la capa de adhesivo, se pasa a realizar su aplicación para el tratamiento de estabilización mecánica. Dicho papel ha de cortarse con el tamaño y la forma deseada para su colocación y ajuste en las áreas que precisan de un refuerzo a causa de roturas, zonas fracturadas y/o en riesgo, además de realizar también injertos en regiones que carecen de soporte original.

El procedimiento se encuentra conformado con los siguientes pasos:

1. Con el uso de unas tijeras, se realiza el corte del fragmento que se va a utilizar. Debido a que esta técnica emplea como adhesivo el Klucel G®, el papel japonés no puede cortarse

con agua, tal y como sucede generalmente en la restauración de papel para la obtención de un refuerzo desfibrado en las orillas. Si se aplicara agua, el adhesivo se reactivaría y no podría conseguirse un corte limpio. Normalmente, los papeles cortados con tijeras dan resultados excelentes para este tipo de estabilizaciones.

2. Identificación de la cara del papel japonés que contiene la capa de adhesivo, la cual será lisa y brillante, para luego reactivarlo con el solvente que va a utilizarse o con mezcla de solventes. Habitualmente, el reactivado se lleva a cabo con un pincel, dando buenos resultados para la colocación de injertos y refuerzos.
3. Efectuar una ligera presión con una plegadera o cortapapeles de hueso o teflón y, si se considera necesario, puede dejarse secar bajo un peso durante unos minutos.

En el caso de tener que ejecutar una adhesión de injertos, se ha podido comprobar que se obtienen buenos resultados empleando Klucel G[®] al 4% en alcohol, puesto que en numerosas ocasiones el injerto solamente necesita adherirse unos cuantos milímetros al soporte original. En dichos casos, es recomendable cortar el papel del injerto con agua, obteniendo un injerto desfibrado en las orillas, que garantice una mejor adhesión al soporte original.

Laminado

El laminado se basa en la adhesión de un papel japonés en la totalidad de una de las caras del documento, con el objetivo de recuperar la estabilidad mecánica del mismo cuando contenga demasiadas roturas, faltantes o una fragilidad considerable. Esto es, el laminado con papel japonés elaborado previamente con Klucel G[®] se aplicará en aquellos casos en los que sea necesario un refuerzo estructural en la totalidad del documento.

Para ello, el documento a tratar debe encontrarse completamente seco, así como lo más plano posible y con todos sus fragmentos dispuestos en su lugar. Teniendo en cuenta el estado de la obra, el Klucel G[®] del papel preparado puede reactivarse de dos formas distintas (Odor, 2013):

- Poner el papel japonés con la cara del adhesivo hacia arriba, sobre un trozo de mylar[®] o acetato transparente y realizar su reactivación con el solvente, o mezcla de solventes, seleccionado mediante aspersión. Generalmente, este método funciona bastante bien con papeles japoneses medianos y gruesos (superiores a 9 g/m²), ya que se disminuye notablemente la cantidad de solvente que se necesita para la reactivación del adhesivo.
- Situar al papel japonés con la cara que contiene el adhesivo hacia el documento a tratar y directamente sobre él reactivarlo mediante aspersión con el solvente escogido. En este caso, dicho método funciona adecuadamente con aquellos papeles japoneses delgados y ultra delgados (de 9 g/m² o más delgados), debido a que el grosor del papel todavía permite el paso del solvente hasta la capa adhesiva que hay que reactivar.

Como se indicó en el apartado anterior, deberá aplicarse una ligera presión sobre el papel de laminado con una brocha gruesa y seca (*Noribake* o similar), comenzando por uno de los bordes y oprimiendo ligeramente desde el centro hacia afuera del documento, asegurando así que el contacto entre el adhesivo reactivado y el soporte original se haga de manera satisfactoria. Por último, será necesario colocar el documento tras su laminación debajo de un peso dispuesto homogéneamente hasta que se seque en su totalidad.

9.5.3.3 Principales recomendaciones para la aplicación de los tratamientos de estabilización mecánica con adhesivos reactivados

Entre las diversas recomendaciones para el uso de esta técnica en documentos con tintas ferrogáficas destaca principalmente emplear, en la medida de lo posible, la menor cantidad

posible de solvente; esto es, solamente la dosis indispensable para reactivar el adhesivo. Es importante aclarar que, a pesar de que sean tratamientos no acuosos, cuanto menos solvente se use, menor riesgo podrá producirse respecto a la migración de iones metálicos y/o ácido sulfúrico de la tinta hacia el papel.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, debe ejercerse una presión suficiente durante la adhesión entre los soportes, así como poner peso de manera homogénea durante la etapa de secado, con el objetivo de fomentar el contacto entre el adhesivo reactivado y el soporte original de papel.

Varios restauradores, señalan que la presión y el peso aplicados a lo largo de las etapas de colocación y secado del refuerzo, injerto o laminado, resultan esenciales en la adhesión entre ambos papeles. En el caso de los refuerzos e injertos, es bastante con ejercer una presión con un cortapapeles de hueso o teflón, entretanto que para los laminados es suficiente presionar con una brocha seca y, tras ello, situar la mayor cantidad de peso que la obra admita.

No obstante, debe prevenirse administrar demasiado peso durante el secado ya que si resultara excesivo podría originarse la continuidad de las fracturas ya presentes en el soporte, inclusive producir nuevas fracturas en aquellas áreas más débiles (como trazos carbonizados) de la obra.

Si existe la posibilidad de reactivar el adhesivo con alcohol etílico absoluto debe decantarse por esta opción, ya que permite reducir al máximo el riesgo de migración de iones metálicos y de ácido sulfúrico, mientras que el alcohol etílico grado técnico posee un porcentaje de agua suficiente que pueda beneficiar dicha migración. Sin embargo, el uso de alcohol etílico (incluso de grado técnico) ya minimiza extraordinariamente la migración producida, si se compara de los adhesivos acuosos generalmente empleados en la restauración del papel.

Asimismo, tras la finalización de la intervención, debe verificarse que no existan brillos en las áreas reforzadas, el cual ha sido originado por la capa de Klucel G[®]. No obstante, aunque esto sea una cuestión más bien estética que funcional, puede ser resuelto de forma sencilla mediante la aplicación de una cantidad mínima de alcohol sobre el brillo detectado.

10 PREVENCIÓN Y CONSERVACIÓN

Las características únicas y culturales que presentan los documentos patrimoniales establecen de forma clara la necesidad de conservación y preservación de los mismos, logrando de esta forma salvaguardar y difundir toda la información contenida en ellos. Por tanto, será indispensable fijar los mejores criterios de actuación en ambas ramas, buscando conseguir el equilibrio armónico entre el compromiso de las funciones de conservación, las cuales son forzosamente restrictivas para proteger la materialidad de los documentos, y las funciones de difusión e información, que tienen que ser lo más altruistas posibles para poder ofrecer todos los valores culturales o metafísicos que dicha obra posee (García, 2019).

La conservación se encarga de mantener en las condiciones físicas más óptimas el material objeto para que pueda cumplir la función para la cual fue creado. Esta conservación se logra evitando el deterioro o la destrucción de la obra o, si ya no es esa la situación, reparándolo en caso de haber sufrido daños que le impidan o pongan en riesgo el cumplimiento de sus funciones (García, 2019).

Por tanto, teniendo en cuenta lo anterior, la conservación de un material puede darse por dos procedimientos diferentes. La primera vía expuesta se basa en una conservación lograda a través de métodos preventivos. En tanto que la segunda opción consiste en conseguir la conservación por medio del tratamiento directo de la obra, en busca de devolverle su condición más óptima mediante métodos rehabilitador (es decir, por restauración) (García, 2019).

De acuerdo con la resolución de terminología expuesta por el ICOM-CC, la conservación preventiva se refiere a “todas aquellas medidas y acciones que tengan como objetivo evitar o minimizar futuros deterioros o pérdidas. Se realizan sobre el contexto o el área circundante del bien, o más frecuentemente un grupo de bienes, sin tener en cuenta su edad o condición. Estas medidas y acciones son indirectas –no interfieren con los materiales y las estructuras de los bienes. No modifican su apariencia.” (ICOM-CC, 2008). Es decir, los procedimientos preventivos alteran el entorno de la obra, para así elaborar un ambiente apropiado para la misma e impiden, en la medida de lo posible, las incidencias degradantes y logrando mantener su integridad física y química, lo cual se traduce en su permanencia y durabilidad. La acción preventiva presentará una mayor eficacia cuanto mayor sea el conocimiento que se tenga de las características del objeto, así como de las causas que producen su patología y en la utilización de materiales y medios técnicos que eviten esta última (Bello & Borrel, 2001).

La preservación y la restauración son dos procedimientos que se complementan mutuamente, pero es importante tener claro que entre ambas existe un claro antagonismo, puesto que son dos realidades inversamente proporcionales. En otras palabras, el incremento de uno supondrá la reducción del otro (García, 2019).

Desde el punto de vista en el que se trate de evitar a toda costa la pérdida del material gráfico, resulta más que evidente que la prevención tendrá un mayor peso de preferencia que la restauración, ya que señalaría que el documento no presenta una situación de riesgo alarmante.

Por lo tanto, puede afirmarse que existe un consenso respecto a los criterios preventivos de conservación, logrando una estabilidad integral que solamente variará en el caso de que las tecnologías emergentes sean más eficaces, y que se manifiesta a través del incremento del número de orientaciones y normas que se originan en numerosos países. Sin embargo, en cuanto a la restauración, se producirá una mayor disparidad de criterio a causa de los efectos secundarios que las técnicas y productos utilizados en los procesos restaurativos puedan provocar, así como

por las peculiaridades que todas las obras albergan en su propia singularidad, lo cual supone un impedimento aun mayor para la uniformidad de criterio (Argerich, 2010).

En definitiva, la conservación preventiva de los documentos dependerá del modo en que se encuentren protegidos frente a las numerosas causas de degradantes expuestas en apartados anteriores. Dicha protección incluye múltiples aspectos a tener en cuenta, tal y como pueden ser los edificios donde se almacenen los documentos, las instalaciones interiores del mismo, la protección física inmediata, los controles ambientales y de otros tipos que lo someten.

10.1 Métodos preventivos de conservación

Tal y como se ha mencionado en la introducción del este capítulo, la conservación preventiva dispone de numerosos elementos a tener en cuenta, como pueden ser: el edificio, el emplazamiento del mismo, su construcción, las áreas específicas donde se dispondrán los archivos y documentos, etc. No obstante, la protección más significativa será aquella enfocada en prevenir la actuación de los agentes físico-ambientales y abrasivos en el emplazamiento

Entre dichos agentes ambientales se encuentran los siguientes (Hernandez, 2014) (García, 2019):

- **Humedad:** con el objetivo de prevenir la humedad por capilaridad, filtración o condensación, el almacén deberá ubicarse por encima de rasante, actuando en forma de impermeabilización de sus cerramientos. Además, se tratará de evitar cualquier tipo de conducción hidráulica por el interior del almacén, albergando las paredes, techos y suelos un revestimiento impermeable no susceptible de oxidación.
- **Temperatura:** para mitigar la incidencia de este factor se utilizarán materiales que actúen como aislantes térmicos, los cuales serán combinados con aquellos encargados de proteger a la obra ante la humedad, debido a que ambos factores exteriores inciden de forma combinada.
- **Luz:** salvo en el caso de tener ambientes y climas particulares, la presencia de una limitada iluminación natural en el depósito no es del todo perjudicial, convirtiéndose incluso en algo provechoso para la obra desde el punto de vista biológico (insectos, microorganismos, etc.). Por ello, los espacios vacíos exteriores no supondrán más de un 15% de la superficie de la pared o muro, mientras que los cerramientos se caracterizarán por ser sumamente aislantes para así evitar el exceso de luz solar en el interior.
- **Polvo:** el polvo generado por la disgregación del pavimento, debido a pisadas, transporte mecánico de documentos, etc., podrá ser evitado o estar presente lo menos posible mediante la selección de materiales de desgaste mínimo a la abrasión, de tipo continuo o con el menor número de juntas. En general, suelen recomendarse el uso de materiales plásticos termoestables.

En lo referente a las medidas de conservación preventiva para los documentos con tintas ferrogálicas, la estabilización es de las medidas más destacables, puesto que su aplicación puede reducir y/o evitar la corrosión de la tinta, así como de poder subsanar las principales causas del deterioro mecánico de las obras. Ello favorecerá su estabilidad a largo plazo, tanto de forma química como mecánica.

El patrimonio documental con tintas ferrogálicas son susceptibles al deterioro a causa de numerosas razones, entre las más habituales son (Odor, 2013):

- Vulnerabilidad de la mayoría de este tipo de documentos por albergar lo denominado como corrosión de la tinta.
- Amplia diversidad en la composición de las tintas ferrogálicas y soportes de papel que

las sustentan.

- Complejidad en la valoración de los riesgos y propuesta de estabilización específica para cada caso.
- Extenso abanico de las condiciones ambientales que han incidido en la obra a lo largo del tiempo.
- Los diversos recursos implicados en la aplicación de los tratamientos de estabilización más favorables.

Teniendo en cuenta dichos factores, así como su complejidad y la relación existente entre ellos, es clara la necesidad y conveniencia de disponer con medidas de conservación preventiva para este tipo de patrimonio, ya que consisten en soluciones globales.

De acuerdo con el conocimiento de los principales mecanismos de degradación que provocan estas tintas ferrogálicas en el soporte que las contiene y, fundamentalmente por la estricta relación entre la corrosión de la tinta y los elevados niveles de humedad relativa, además de la continua manipulación de las obras y la pérdida del soporte, es evidente el gran beneficio que supone la conservación preventiva (Reissland, 1999).

De las ventajas más destacables de la conservación preventiva puede indicarse que se basa en una solución masiva a problemas que también tienden a ser masivos, favoreciendo de esta forma a los fondos documentales y no a casos aislados, optimizando el proceso y todos los recursos disponibles. A pesar de que en un inicio dichas medidas suponen un gran gasto inicialmente, a largo plazo entrañan una gran inversión favorable, ya que no solamente se encargan de parar o retrasar el deterioro ya existente, sino que disuaden mayores daños en esos documentos con riesgos potenciales.

A continuación, se exponen las principales ventajas de la aplicación de medidas de conservación preventiva para la estabilización de documentos con tintas ferrogálicas (Odor, 2013):

- Se basan en soluciones masivas, puesto que no se centran en un solo documento a la vez, sino en un conjunto de documentos completos.
- Posibilitan la reducción del deterioro por corrosión de la tinta que ya ha comenzado, además de evitar más daños en esos documentos que muestran potenciales riesgos a largo plazo.
- Se preserva la composición original de la tinta y del soporte de papel patrimonial, no generando modificaciones en el aspecto de los documentos.
- Se conceden el máximo aprovechamiento de los recursos económicos, materiales y humanos.
- Es factible para cualquier tipo de tinta ferrogálica y papel, ya sean para documentos sueltos o para material encuadernado.
- Ciertas medidas, como la reprografía, igual que reducir la continua manipulación de las obras y los riesgos que implica, contribuyen su consulta y difusión a un mayor número de usuarios.

Por otro lado, entre los diversos inconvenientes se encuentran (Odor, 2013):

- No se eliminan los productos solubles de degradación del soporte.
- No se remueven ni estabilizan el exceso de iones libres de hierro ni la acidez aportados por tintas ferrogálicas desbalanceadas hacia el hierro.
- Normalmente, se necesitan mayores inversiones iniciales, a pesar de que a largo plazo permiten optimizar los recursos.
- En numerosas ocasiones, tienen que ser alternados con medidas de estabilización material de los documentos, necesitan la planificación de más tiempo y recursos para su

ejecución.

Así, tomando en consideración todo lo anterior, entre las principales medidas de conservación preventiva para el caso específico de los documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas se encuentran las guardas y cajas de protección, intercalado, reprografía, lineamientos y políticas, monitoreo y condiciones ambientales, siendo estas últimas las de mayor importancia debido a la gran incidencia que tienen en las obras, por lo que se comentarán con más detalle posteriormente. Dichas medidas tienen la posibilidad de aplicarse en cualquier documento con tintas ferrogálicas, sea cual sea su composición o etapa de degradación.

No obstante, Tse y Waller aconsejan dar prioridad a los documentos con un alto riesgo de albergar corrosión de la tinta (grupo de riesgo III del *modelo de evaluación de riesgos en tintas ferrogálicas sobre papel*) y que todavía están en un buen estado, particularmente para evitar el comienzo y/o desarrollo del daño (Tse & Waller, 2008).

10.1.1 Guardas y cajas de protección

Tal y como se pudo apreciar en el *Modelo de opciones propuestas para el control de riesgos en tintas ferrogálicas sobre soportes de papel* (ver apartado 8.1.2 *Grupos de riesgos*), se incluían las guardas de protección entre las opciones de estabilización mecánica de documentos con tintas ferrogálicas. A pesar de ello, como no es una intervención directa sobre las obras a tratar, serán consideradas como medidas de conservación preventiva.

Las cajas, guardas y contenedores proporcionan un soporte estructural a las obras, a la vez que reducen el riesgo de daños mecánicos en ellas. Asimismo, protegen a los documentos de los principales factores extrínsecos de deterioro, tal como la luz, el polvo, los contaminantes y las fluctuaciones de humedad y temperatura del ambiente.

Usualmente, se aconseja que los documentos de papel con tintas ferrogálicas, o con cualquier otro tipo, dispongan de guardas de primer nivel, que esté hecha a medida y con materiales conocidos como libres de ácido. Es decir, una guarda de primer nivel se denomina a una guarda de protección que se encuentra en contacto directo con el documento, mientras que si se tuvieran más guardas, la siguiente de ellas se le llamaría guarda de segundo nivel, y así sucesivamente. Por otro lado, el término de libre de ácido hace referencia al tipo de composición que alberga la guarda, con lo cual dicha denominación puede variar a otras como: calidad archivo, calidad museo, con contenido de algodón, con alto contenido de alfa celulosa, etc. Por ello, es habitual sugerir que el papel empleado para las guardas de primer nivel sea manufacturado a partir de pulpas con elevado contenido de alfa celulosa, la cual puede ser de algodón, lino, pulpas químicas de madera de alta calidad y producidas bajo procesos alcalinos, o una mezcla de éstas. Además, dicho papel de guarda debe estar exento de lignina, encolante de alumbre-colofonia, partículas metálicas, acabados superficiales, ceras o plastificantes (Odor, 2013).

Para el papel usado en la confección de guardas de primer nivel para documentos patrimoniales, la norma británica BS 5454 expone una serie de características concretas, tales como que el papel debe ser de fibras de celulosa que contengan una reserva alcalina de carbonato de calcio, presente un pH entre 6 y 9, no contenga ácido, libre de lignina y libre de azufre. Si se decide emplear plásticos como guardas de primer nivel, la misma norma aconseja que sean de poliéster libre de plastificantes (BS 5454, 2000). Igualmente, la norma ISO 11799 señala que los materiales utilizados para la elaboración de guardas no deben emitir gases ácidos y/o nocivos (ISO 11799, 2003).

En el caso de albergar documentos con tintas ferrogálicas, y sobre todo aquellos que se encuentran muy fragmentados o con avanzado signo de corrosión de la tinta (fracturas en los trazos, carbonización y pérdida del material por carbonización del soporte), es aconsejable el empleo de papel para la concepción de las guardas de primer nivel, ya que los plásticos tienen tendencia a originar algo de estática, la cual puede captar o liberar pequeños trozos de las zonas más dañadas y debilitadas del papel del documento. Del mismo modo, se recomienda que la

guarda de primer nivel tenga un tamaño óptimo, acorde a la obra a la que va a proteger. Si la guarda tuviera un tamaño demasiado ajustado al documento, podrá producirse una presión indeseada sobre el mismo, mientras que si es demasiado grande el documento se moverá al manipular el conjunto y se producirán daños mecánicos en el acervo documental (Odor, 2013).

En lo referente a las cajas y contenedores, éstas funcionan como guardas de segundo nivel y se sugiere que estén fabricadas con materiales libres de ácido, de al menos 2 mm de grosor y que no contengan grapas u otro elemento metálico que no sea inoxidable. Los materiales más empleados para la confección de cajas de resguardo de material documental es el cartón y el polipropileno (BS 5454, 2000).

Si por razones de presupuesto no es factible la posibilidad de adquirir materiales libres de ácido para todos los niveles de protección que se vayan a instaurar en la obra, lo más habitual es dar prioridad a aquellas guardas que actuaran como primer nivel de salvaguardia, debido a que estarán en contacto directo con los documentos. No obstante, siempre deberá exigirse y buscarse la mejor calidad posible en todos los materiales empleados para el depósito.

10.1.2 Intercalado

Una solución bastante eficaz y muy útil para la conservación preventiva de documentos y con tintas ferrogálicas que presenten un exceso de iones metálicos es la intercalación de hojas de papel libre de ácido y/o impregnado con antioxidantes. Sin embargo, esta alternativa no ha sido tan estudiada como otras opciones, por lo que las referencias a la misma son bastante reducidas.

La inhibición de la hidrólisis ácida de la celulosa a partir de la colocación de papeles con reserva alcalina entre documentos ácidos, permitió a Vinther Hansen realizar estudios acerca de insertar papeles impregnados con una combinación de bromuro de sodio (NaBr) como antioxidante y carbonato de calcio (CaCO_3) como reserva alcalina, para la mitigación de la degradación de los documentos con tintas ferrogálicas (Vinther Hansen, 2005).

Este investigador llevó a cabo diversas pruebas con papeles impregnados con carbonato de calcio, bromuro de sodio y con mezclas de ambos. Los mejores resultados, desde el punto de vista de la supresión de la corrosión de la tinta, se dieron en aquellos papeles mojados tanto con bromuro de sodio como con carbonato de calcio, ya que el primero se encarga de reducir la oxidación de la celulosa, mientras que el segundo estiliza el pH (Vinther Hansen, 2005).

Así, agregar papeles impregnados con antioxidantes y con reserva alcalina permite reducir el riesgo causado por la corrosión de la tinta ferrogálica con exceso de iones metálicos, sin tener que llevar a cabo ningún tratamiento directo en los documentos que las contienen.

El bromuro de sodio es un compuesto antioxidante soluble en solventes orgánicos y que es capaz de inhibir el proceso de oxidación de la celulosa mediante su reacción con los grupos peróxido que se originan en dicho proceso. Ello impide que se produzcan radicales orgánicos, los cuales catalizan la degradación de la celulosa en presencia de metales de transición aportados por las tintas (Vinther Hansen, 2005).

No obstante, Vinther Hansen señala en su investigación que en el caso de aplicar papel impregnado exclusivamente con bromuro de sodio, el papel empleado que ha sido envejecido aceleradamente para actuar como réplica de acervos documentales ve mermada su resistencia, por lo que sería muy interesante continuar una línea de investigación acerca de los posibles efectos a largo plazo del contacto directo de los documentos con dicho antioxidante (Vinther Hansen, 2005).

La principal ventaja de la intercalación radica en que se posibilita retrasar el comienzo o el avance de la degradación, provocada tanto por los iones libres de hierro como por el ácido sulfúrico procedentes ambos de las tintas que sustenta el papel, sin necesidad de intervenir directamente y permitiendo conservar su composición y características originales; algo que no sucede con las estabilizaciones químicas, las cuales sí que los modifican.

Asimismo, el intercalado presenta algunas desventajas. No se recomienda su aplicación en volúmenes encuadernados, puesto que el grosor de la obra se vería incrementado y podría ocasionar tensiones en la costura y problemas estructurales. Además, se vería incrementado el tamaño de los fondos documentales, lo que desembocaría en una necesidad mayor de material de protección y de zonas y espacios para su almacenamiento y resguardo (Odor, 2013).

Por tanto, el intercalado con papeles libres de ácido es una buena opción preventiva para aquellos casos en los que el fondo documental sea pequeño y sin encuadernar, así como en documentos con riesgo de corrosión de la tinta que no sean un gran número.

10.1.3 Reprografía

Justo como se pudo apreciar en el apartado 7.2.3.1 de *Réplica de seguridad* del capítulo de *Restauración*, la reprografía consiste en la reproducción de los documentos por varias metodologías, como es el caso de la fotografía, el microfilmado, la digitalización y la transcripción. Algo que resulta de vital importancia para lograr evitar una de las principales causas de deterioro en documento patrimoniales: la manipulación excesiva.

Disponer de copias, ya sea en formato físico y/o digital, permite limitar la continua manipulación de las obras originales, y de esta forma disminuir significativamente el riesgo de producir más daños físicos en las mismas (fracturas, pérdida de material, etc.).

De acuerdo a las posibilidades, necesidades y objetivos especificados de la institución, la reprografía se desarrollará de acuerdo con el método más favorable para ello. No obstante, la reprografía debe atender a planes elaborados con antelación, así como con fines determinados y seguir los lineamientos base en lo referente a calidad de imagen, manejo de datos de las imágenes producidas, almacenamiento y acceso a largo plazo de las mismas, ... Por tanto, se trata de programas interdisciplinarios y que, normalmente, precisa de inversiones a corto, medio y largo plazo (Odor, 2013).

Si se decidiera no tener en cuenta nada de lo expuesto anteriormente, o de no asesorarse con especialistas de la materia, la reprografía se transformaría en un factor de deterioro y no de aprovechamiento de recursos. De este modo, el reproducir un conjunto documental sin contar o determinar debidamente la resolución de las imágenes, o manipulación de los metadatos de las mismas, da como resultado tener que reproducir los mismos documentos más de una vez (Odor, 2013).

No cabe duda de que la reprografía puede llegar a ser una destacable medida de conservación y difusión de los originales, pero tiene que ir de la mano de una planificación y ordenación de todos los recursos necesarios para su almacenamiento y conservación, ya sea en soporte digital o físico, así como que se encuentren disponibles para todo aquel que precise de su consulta.

Así, a pesar de que en un primer momento puede llegar a creerse que la reprografía mediante la digitalización resulta la vía más sencilla, Conway es claro a la hora de exponer la complejidad de dicho método (aunque dicha observación sirve para cualquier tipo de reproducción): “la conversión de imágenes digitales, en un entorno operacional, exige un compromiso institucional minucioso y constante con la conservación, además de una completa integración de la tecnología en procedimientos y procesos de manejo de la información, y un liderazgo significativo en el desarrollo de definiciones y normas adecuadas para la preservación digital” (Conway, 2000).

10.1.4 Lineamientos y políticas

Entre las principales medidas de conservación preventiva se encuentra la elaboración e implementación de directrices básicas para el acceso, manipulación, almacenamiento y exposición del fondo documental.

Esas pautas o lineamientos tienen que dar respuesta al cometido individual de cada institución y actuarán como base para determinar aquellas políticas y metodologías que regularán los trabajos de gestión y conservación de los documentos patrimoniales.

En lo referentes a las políticas de un conjunto documental, éstas se encargan de establecer todos los parámetros sobre los que funciona un programa de preservación y además, al apoyarse en la labor institucional, permiten definir el alcance de los fondos documentales. En cambio, los lineamientos o manuales de acción se encargan de definir las actividades que el personal de laboratorio lleva a cabo, determinando todas las responsabilidades y deberes de cada uno, asegurando así la ejecución de los objetivos estipulados (Child, 2000).

Por tanto, es de vital importancia que todos los lineamientos y políticas dispuestas se encuentren actualizadas, se revisen regularmente, sean flexibles y se basen en todas aquellas orientaciones y normas correspondientes a cada categoría.

En definitiva, tener planes integrales de preservación que expongan una adecuada normativa para el uso, manipulación, almacenamiento y exposición de las obras es, sin duda alguna, una gran ventaja para la conservación a largo plazo de las mismas.

10.1.5 Monitoreo

Tal y como se expuso en el apartado 7.2.1 de *Control* en el capítulo de *Restauración*, es aconsejable llevar a cabo un monitoreo continuo del estado de conservación de los fondos documentales, sobre todo de aquellos que contienen tintas ferrogálicas. Para ello, es pertinente tener un conocimiento adecuado de los documentos, así como de sus peculiaridades esenciales, ya que de otra forma podría producirse una complicación indeseada en la detección de cualquier cambio en los mismos.

Las revisiones periódicas de los acervos documentales permiten identificar cualquier signo o progreso en la corrosión de las tintas, el surgimiento de microorganismos o de plagas, existencia de filtraciones o peligro de inundación o incendio, uso inadecuado o una incorrecta manipulación que pudiera desencadenar daños mecánicos a los documentos, ... Por tanto, resulta indispensable vigilar cualquier tipo de riesgo posible, facilitando la toma de decisiones rápidas y bien informadas en el supuesto de que sea requerido.

La aplicación de correctas medidas de conservación preventiva para documentos patrimoniales, especialmente para aquellos con tintas ferrogálicas, permite el control eficaz de las principales causas extrínsecas de la corrosión de la tinta, así como los riesgos pertenecientes a las causas intrínsecas. Gracias a ello, se optimizará al máximo todos los recursos disponibles, favoreciendo a fondos documentales completos y no solamente a documentos aislados (Odor, 2013).

Es importante destacar que tanto las medidas de conservación preventiva, como aquellos tratamientos de estabilización química y física, pueden ser utilizadas por separado o conjuntamente, ya que su aplicación de uno de ellos no implica la exclusión del otro. Por consiguiente, un documento podrá ser estabilizado tanto mecánicamente como químicamente y, posteriormente, estar sujeto a todas las medidas de conservación preventiva. No obstante, habrá casos en los que solamente será necesaria la aplicación de una estabilización mecánica combinada con la conservación preventiva; mientras que en otros solo se requerirá esta última para paliar los principales riesgos de las obras (Odor, 2013).

10.2 Controles de conservación

El control de aquellos agentes cuya sola presencia o cuantía desproporcionada con respecto a la considerada conveniente, inocua o tolerable, haga necesaria su eliminación o corrección, muestra

una estrecha relación con la preservación y curación de las obras. Después de conocer dichos agentes, una política eficiente de control precisa utilizar instrumental detector adecuado y/o cuantificador de su aparición, así como de la pertinente implantación de sistemas correctores e inhibidores de su acción.

Estos factores a controlar han sido mencionados en los puntos anteriores y son: temperatura, humedad, luz, polución, contaminación biológica y fuego. Además, todas sus medidas preventivas englobadas ya en la propia construcción e instalación del archivo. No obstante, por lo general, no resultan del todo suficientes y pueden llegar a verse sobrepasadas en situaciones endémicas.

Para el depósito de archivos que posea un sistema de climatización artificial, los factores de humedad, temperatura, polución y contaminación biológica quedarán completamente resueltos de manera conveniente (Tacón, 2005). No obstante, el sistema implementado tendrá una complejidad y coste elevados, siendo un tanto inaccesible para diversos archivos y, en varias ocasiones, tampoco fundamental. En aquellos casos en los que las condiciones ambientales externas lo hagan vital, sí será necesaria su instalación, al margen de aspectos técnicos y económicos.

A continuación, se exponen todos los detalles y características comprendidas para el control de todos los agentes indicados.

10.2.1 Humedad y temperatura

Cuando se tiene por objetivo llevar a cabo un correcto control climático, es imperativo atender de forma simultánea tanto a la temperatura como a la humedad, debido a que estos dos factores forman un binomio difícil de anular y separar, cuya incidencia sobre los materiales celulósicos da lugar a graves deterioros (García, 2019).

La única alternativa para paliar sus efectos se basa en desarrollar su actividad dentro de unos límites controlados, evitando de esta manera que se produzca cualquier daño irreparable. Estos límites se encargarán de establecer el clima más óptimo para cada caso particular, caracterizándose por la inexistencia de amplias oscilaciones de acuerdo con una constancia en los índices térmicos e higroscópicos (Vaillant & Valentín, 1996). Dicho clima óptimo, puede efectuarse de dos maneras diferentes, según el tipo de sistema que se decida aplicar en el depósito (Crespo & Viñas, 1985).

10.2.1.1 Sistema natural

El sistema natural depende totalmente de las condiciones climático-ambientales en un periodo de tiempo determinado.

Es decir, el clima natural más óptimo se obtiene a partir de medidas registradas en los últimos años, determinándose con dichos valores los límites que se corresponderán con cinco puntos para arriba y abajo en la humedad relativa (HR) y con tres puntos en la temperatura (Crespo & Viñas, 1985).

Para conseguir dicho equilibrio de forma natural, existen varias conjugaciones de diferentes soluciones (García, 2019):

- Una primera alternativa se basa en ubicar el edificio en una cota elevada, siempre y cuando todavía se estuviera en la fase de diseño y construcción del emplazamiento. Con ello se evitarían las posibles filtraciones de humedades procedentes del subsuelo.
- Una segunda opción, en concordancia con la anterior, sería seleccionar una orientación adecuada de los depósitos para lograr una correcta protección del calor del sol y un

mejor beneficio de los vientos.

- Aislamiento del local de archivos mediante un doble muro, suelo y techo, así como recubrimientos.
- Ventilación natural gracias al estudio de las corrientes de aire que pueden originarse en el depósito mediante convección.

Como ventaja de este sistema natural debe hacerse alusión al hecho de que la materia orgánica suele adaptarse al medio en el que se encuentre y padece un menor deterioro cuanto menor sea la fluctuación de dicho medio, así como menores cambios bruscos, los cuales desequilibran severamente a la estabilidad estructural (García, 2019).

Si, a pesar de estas soluciones, la media del clima natural del depósito sobrepasa los límites normalizados de temperatura y humedad relativa, será crucial la aplicación de sistemas artificiales.

10.2.1.2 Sistema artificial

Los sistemas artificiales permiten controlar la humedad relativa y la temperatura independientemente de las condiciones climáticas y ambientales de carácter natural. Para este fin, se emplean distintos dispositivos que se encargan de aportar o restar humedad, a la vez que aumentan o reducen el calor del ambiente, destacando mayormente los climatizadores o acondicionadores de aire (Crespo & Viñas, 1985).

En un principio, son la solución ideal para los problemas que conllevan estos dos factores ambientales. No obstante, el principal inconveniente se basa en el riesgo de interrupción en su funcionamiento, en el caso de que se produzcan anomalías en el suministro eléctrico o averías en el propio equipo (García, 2019).

Asimismo, desde el punto de vista de la conservación, un funcionamiento intermitente de dichos sistemas resulta intolerable, puesto que desembocaría en un desequilibrio estructural del papel, dando lugar finalmente a su destrucción. Por tanto, un uso incorrecto de estos aparatos climatizadores sería más destructivo que ventajoso para la conservación preventiva (García, 2019).

Igualmente, deben mencionarse los aparatos conocidos como deshumectadores o deshumidificadores. A pesar de que resultan de menor interés, tienen una buena utilización para aquellos recintos que presente un volumen reducido. Del mismo modo, también están los impulsores o extractores, los cuales se encargan de la renovación del aire y suelen proporcionar una correcta ventilación, siempre y cuando las condiciones exteriores no sean perjudiciales para los archivos (Crespo & Viñas, 1985).

De cualquier modo, el grado de humedad relativa y temperatura a mantener con estos dispositivos artificiales deben corresponderse con el clima más óptimo de acuerdo con la norma general. Cuanto mayor sea el margen de los límites naturales, más deficiente será el rendimiento que ofrecerá la maquinaria, originando mayores costes y más peligros o daños al material documental (Vergara, 2002).

La norma ISO 11799 indica niveles de 35-50% ($\pm 3\%$) de HR y de 14-18°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) de temperatura para el almacenamiento de documentos con soporte de papel en uso, es decir, que se encuentran disponibles de forma regular para su consulta. En el caso de que dichos documentos no se encuentren en uso continuado, la misma norma recomienda como valores óptimos en la conservación de esos soportes de papel de 30 a 45% ($\pm 3\%$) de humedad relativa y de 2 a 18°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) de temperatura (ISO 11799, 2003). Asimismo, para documentos con tintas ferrogáficas,

los niveles recomendados de humedad relativa y de temperatura son de un 50% ($\pm 5\%$) y 18°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) (Reissland, 2000). Como puede apreciarse, las condiciones de HR y T aconsejadas para cualquier documento con soporte de papel no difieren en demasía de las recomendaciones específicas para soportes de papel con tintas ferrogálicas.

Además, mantener la humedad relativa por debajo del 60%, permite minimizar los riesgos de hongos en los materiales orgánicos, como es el caso de los soportes de papel. Si se superara el 65% de HR, la probabilidad de un brote microbiológico se intensificaría significativamente. Al mismo tiempo, para mitigar el riesgo de ataque de insectos, se aconseja mantener la humedad relativa por debajo del 50% y la temperatura más fresca posible. Con el término de temperatura fresca el Instituto de Permanencia de la Imagen (IPI) delimita un rango comprendido entre los 4 y 12°C, dentro de la siguiente escala general de T en un espacio: ambiente, fresco, frío y congelado (Adelstein, 2004)

Por tanto, en conformidad con lo anterior, lo más óptimo para la conservación de soportes de papel, así como para aquellos documentos que contengan tintas ferrogálicas (sobre todo los que se encuentren en uso), es mantener unos niveles de humedad relativa menores del 50%, mientras que la temperatura estará por debajo de 18°C. Con estas condiciones se logrará mitigar al máximo la catálisis del deterioro por corrosión de la tinta, además de otros riesgos originados a partir de ellos, como es el caso de los hongos o algunas plagas.

Para poder tener una idea real y veraz de las condiciones de HR y T en un espacio determinado, se requiere ejecutar un monitorio y registro constante de ambos parámetros a lo largo de las diferentes estaciones del año y a diferentes horas del día. El equipo para dicho fin deberá estar perfectamente calibrado y la información recopilada tendrá que ser registrada y analizada para poder determinar las medidas más pertinentes, las cuales se tomarán en cuenta para controlar y/o mantener las condiciones deseadas, en virtud de cada caso (ISO 11799, 2003).

10.2.2 Luz

La única iluminación requerida en el depósito donde se encuentren los documentos patrimoniales será en el momento en el que se precise su localización en él. Por tanto, la selección de la misma tenderá a seleccionar una iluminación ambiental, siendo más que suficiente una intensidad de 50 lux (Asensi, 2014).

A pesar de la preferencia por la iluminación natural, es evidente que se precisa de una instalación eléctrica en los archivos de resguardo, la cual permita subsanar las fluctuaciones de dicha luz natural, ya sea en horas nocturnas o en su repartimiento desigual en el depósito (García, 2019).

No obstante, es indispensable recalcar la necesidad de cuidar que las radiaciones, tanto provenientes de luz natural como de luz eléctrica, incidan perpendicularmente sobre la documentación o los contenedores donde se encuentre la obra (García, 2019).

Todos los documentos que muestren corrosión en las tintas que soportan, o que se encuentran muy próximos a presentarla, son particularmente sensibles a la radiación ultravioleta. Por ello, la recomendación principal para la iluminación en zonas de resguardo y/o uso de este tipo de documentos sea que dichas áreas se encuentren protegidas de la luz natural, así como que cualquier tipo de fuente de iluminación artificial durante el almacenamiento o el uso no emita radiación ultravioleta o que sea adecuadamente filtrada (Odor, 2013).

En el caso de que el espacio de almacenaje cuente con luz fluorescente, se requiere entonces la colocación de difusores y filtros que mantengan la radiación ultravioleta relativa, es decir, con una longitud de onda inferior a 400 nm, por debajo de los 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$, de acuerdo a lo recomendado en la norma ISO 11799. Si la luz fuera incandescente, la sugerencia sería colocar filtros que se encarguen de absorber el calor, así como que la lámpara se encuentre por lo menos a 500 milímetros de distancia de la estantería. Para la iluminación con fibra óptica, se aconseja que el elemento generador de luz se sitúe lo más alejado posible de la obra a iluminar. En la

actualidad, la iluminación más recomendada es la LED (término en inglés *light emitting diodes*), debido a que no se producen radiaciones dañinas, es de bajo consumo energético, de intensidad regulable y de larga duración (ISO 11799, 2003).

Para los documentos con tintas ferrogálicas, los especialistas los clasifican dentro de los materiales con una elevada sensibilidad a la luz, y aconsejan que la exposición de los mismos a ésta sea únicamente por cortos periodos de tiempo e incluso que se realice el reemplazamiento de los originales por copias, en el caso de que tengan que ser expuestos durante un tiempo prolongado (Library of Congress, 2012). Asimismo, Tse y Waller sugieren que, para documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas clasificados en el grupo de riesgo II (riesgo de desvanecimiento), el almacenamiento se lleva a cabo en áreas oscuras (Tse & Waller, 2008).

De manera general, se aconseja que las áreas de salvaguarda no superen nunca los 200 luxes (lx), aun cuando los documentos cuenten con guardas de protección (ISO 11799, 2003). Si se realiza una exposición (temporal) de documentos con soportes de papel, se sugiere que los niveles de iluminación no lleguen a los 50 lx (ISO 11799, 2003).

Debe recalarse que el daño provocado por luz en cualquier documento con soporte de papel es acumulativo e irreversible, por lo que en el deterioro no solamente influirá el tipo de luz, sino también su intensidad y el tiempo de exposición. Para exposiciones temporales de documentos se ha establecido como límite 50.000 horas/lux. En otras palabras, si el documento se expone durante 10 horas diarias a 50 luxes, el límite de exposición será a los 100 días. Si el mismo documento se exhibiera la misma cantidad de horas pero a 100 luxes, el límite se alcanzaría en solo 50 días y así, sucesivamente (Bello & Borrel, 2001)

En definitiva, para la exhibición de documentos, ya tengan tintas ferrogálicas o no, la recomendación principal es la elaboración de copias o facsimilares, incluso si se trata de periodos cortos de exposición.

10.2.3 Contaminación atmosférica

Tal como se pudo ver en el capítulo de *Alteraciones y efectos*, los contaminantes presentes en el aire pueden provocar una incidencia muy dañina en los documentos patrimoniales, llegando incluso a favorecer la corrosión de la tinta. Por ello, será conveniente que las áreas de resguardo dispongan de sistemas de filtración de aire en caso de ser necesario (Reissland, 2000). Además, si los documentos son protegidos con guardas de primer nivel, la incidencia de dicha contaminación se verá mucho más dificultada.

La contaminación atmosférica viene determinada por aquellos productos provenientes de los procesos industriales o naturales, los cuales inducen a la rarefacción del medio ambiente (García, 2019).

Entre dichos productos se encuentran: los aerosoles, humo, nieblas, vapores y gases desprendidos de sólidos o líquidos por variaciones de presión o temperatura (Vaillant & Valentín, 1996). Buena parte de ellos son el motivo de deterioro eventual de la obra, debido a que son portadores de sustancias agresivas para el papel y las tintas (grasas, acidez, reactivos químicos, suciedad, etc.).

Igualmente, junto a estos contaminantes en la atmósfera existe otra serie de gases, que también llevan a cabo un efecto negativo sobre los materiales celulósicos y cuyo control se hace inviable a no ser que se cuente con cámaras especiales para la conservación en vacío o en sobre presión, utilizando un gas inerte (Crespo & Viñas, 1985).

Los contaminantes más destacados que tienen que ser controlados en las zonas de salvaguarda de documentos con tintas ferrogálicas, según Reissland, son los óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO_2) y el ozono (O_3) (Reissland, 2000). En las zonas asignadas para el resguardo de documentos en archivos y bibliotecas, la norma ISO 11799 aconseja como límite máximo de tolerancia para estos contaminantes de 5 a 10 partes por billón (ppb) en volumen

(ISO 11799, 2003).

Para llevar a cabo el control de dichos contaminantes atmosféricos se emplean sistemas de filtrado, los cuales impiden el acceso de las partículas al interior del depósito. Generalmente, estos sistemas utilizan filtros de fibras celulósicas o similares de carbón activo, de aceite, de agua, etc., los cuales deben ser limpiados o renovados periódicamente (Asensi, 2014).

Adelstein señala que los filtros de carbón permiten remover de forma eficiente el ozono y algunos otros gases contaminantes, aunque no resultan tan eficaces con el dióxido de nitrógeno (NO₂). Asimismo, sugiere establecer un plan de medida del nivel de contaminación en el interior de las áreas de almacenamiento, así como para determinar la fuente de esos contaminantes. También recomienda llevar a cabo una limpieza y/o cambio regular de los filtros con los que se cuenten para dicha labor (Adelstein, 2004). La norma ISO 11799 también expone la necesidad de ejecutar un monitoreo continuo de la calidad del aire en el interior de los depósitos de resguardo, focalizado especialmente a gases contaminantes y partículas de polvo (se establece 50 µg/m³ como límite máximo de partículas de polvo en el ambiente, incluyendo las esporas de hongos) (ISO 11799, 2003).

Finalmente, debe remarcarse también la necesidad de circulación de aire en las áreas de almacenamiento de los acervos documentales. Gracias a ello, se impedirá la formación de bolsas de aire húmedo. Si esto no es posible desarrollarlo de forma natural, se deberá contar con sistemas de ventilación que doten a las áreas de aire fresco y libre de contaminantes y polvo (ISO 11799, 2003).

10.2.4 Contaminación biológica

La contaminación biológica tiene lugar a causa de la presencia de distintos individuos bibliófagos en los depósitos documentales. La aparición de éstos se debe a dos razones fundamentales: un medio de alimentación o sustrato (que en el caso del patrimonio documental se corresponde con la celulosa del papel) y el ambiente o microclima favorable para su desarrollo (García, 2019).

El medio de alimentación es indispensable y no es posible de eliminar, ya que se trata del propio archivo y documento a conservar. Por ello, la única alternativa viable será proporcionar al papel de algún tipo de autodefensa, ya sea en su manufacturación o en tratamientos posteriores (Martín, 1965).

Así, el control sólo podrá efectuarse con respecto al ambiente que fomenta las condiciones más favorables para la proliferación de insectos y microorganismos (García, 2019). Dicho ambiente se caracteriza por (Crespo & Viñas, 1985): ausencia total de luz, polvo y suciedad, escasa ventilación, alta temperatura y humedad, ausencia de factores distorsivos; rincones y zonas oscuras, materiales y enseres contaminados, inexistencia de tratamientos preventivos, ausencia de revisiones periódicas y canalizaciones o accesos directos al exterior.

Si estas condiciones se mantienen presentes en el archivo, tendrá lugar la posibilidad de invasión de esos individuos bibliográficos y, en consecuencia, en daños a los documentos. Por consiguiente, el control de la contaminación biológica se enfocará en mitigar o eliminar esas condiciones, de acuerdo a las siguientes pautas (García, 2019):

a) Luz moderada

La presencia de luz actúa como debilitador o eliminador de la mayor parte de los microorganismos. Además, multitud de insectos no son capaces de soportarla, por lo que la iluminación resulta muy ventajosa para el cuidado y conservación del material gráfico (Asensi, 2014).

La luz tendrá un efecto gemicida y distorsionante, especialmente aquellas radiaciones lumínicas de menor longitud de onda. Por consiguiente, una sutil iluminación general en los depósitos contribuirá a reducir el campo de acción de gran parte de especies

bibliográficas, teniendo siempre presente no superar los valores límites, puesto que daría lugar a una degradación indeseada del papel y tintas (García, 2019).

b) Baja temperatura y humedad

Todo ser vivo requiere de un clima idóneo para su proliferación y supervivencia. Usualmente, y a pesar de que puede cambiar de acuerdo con el nivel de resistencia y capacidad de adaptación de las especies, las condiciones de temperatura más propicias para la microfauna oscilan entre los 25 y 30°C; mientras que para el índice de humedad relativa se encuentra por encima del 65%, siendo muy pocas las especies que superan el grado de 85% (Crespo & Viñas, 1985).

Por otro lado, los insectos son menos exigentes y, por ello, pueden sobrevivir en rangos más amplios de temperatura y humedad, aunque tienden a optar por climas secos y templados (Bringas, 2017).

Así pues, y tomando en consideración el gran efecto negativo de los índices elevados de temperatura y humedad en el papel, es aconsejable llevar a cabo un control localizado con unos niveles bajos, acorde con el clima más óptimo del lugar donde se ubique el archivo (García, 2019).

c) Buena ventilación

Un aire muy viciado en los depósitos de archivos y bibliotecas a causa de una incorrecta ventilación puede ser el responsable de la aparición de estos organismos indeseados; siendo el olor a depósito cerrado una pista inequívoca de la existencia de microorganismos (García, 2019).

Toda aireación, ya sea natural o forzada, deberá mantenerse de modo constante y regular, previniéndose en todo momento las fluctuaciones irregulares y los tiempos pico. La idea más óptima será de una renovación de 0,25 l/s/m² (Asensi, 2014).

d) Áreas diáfanas

Los rincones con muy poca iluminación y zonas ocultas resultan muy propicios para la generación y acumulación de la suciedad, así como una incorrecta ventilación. Con lo cual, la forma del local y la disposición adecuada del mobiliario permitirá eliminar estas eventualidades (García, 2019).

e) Limpieza

La suciedad es un gran incentivo para la presencia de bibliófagos y también de otros depredadores que, a su vez, provocarían más suciedad.

Es imprescindible mantener el lugar de trabajo lo más limpio posible, eliminando todo el polvo y basura como primera medida higiénica más elemental, complementándose con limpiezas regulares con productos específicos (detergentes, lejías, etc.) (García, 2019).

f) Ruido y vibraciones

El poco uso, el abandono o el silencio de diversas áreas del archivo pueden potenciar la actividad de los insectos, así como de micromamíferos, los cuales podrán vagar con libertad sin ningún tipo de obstáculo.

En contraste, el ruido y las vibraciones, siempre y cuando no den lugar a ningún tipo de

deterioro, son factores perturbadores para la habitabilidad apta de insectos bibliófagos y otros seres parasitarios de los depósitos documentales (García, 2019).

g) Incorporación de materiales exentos de contaminación biológica

En repetidas ocasiones, es el propio material celulósico quien introduce los agentes bibliófagos en los depósitos de archivos, actuando como elemento de transmisión entre las diferentes áreas.

Para combatir y controlar dicha difusión, es de obligatoria necesidad llevar a cabo una observación periódica de todos los elementos y materiales que se incorporan al archivo, en especial de los más nuevos, sobre todo de aquellos que provengan de depósitos o lugares infectados (García, 2019).

h) Control periódico

Como es lógico, realizar inspecciones regulares de la documentación, el mobiliario así como de áreas conflictivas del depósito, es fundamental para la verificación o detección de factores biótico-degradatorios.

Estas comprobaciones deben incrementarse en aquellas épocas del año en las que se produce un incremento del afloramiento de dichos seres indeseados, normalmente en primavera y verano, ya que es cuando existe un mayor riesgo de contaminación por razones ambientales (García, 2019).

i) Archivo sin huecos al exterior

Las ventanas y puertas suponen un acceso bastante probable para facilitar la entrada de microorganismos e insectos. No obstante, los elementos con más peligro para ello son los conductos de agua, electricidad, etc.; puesto que resultan ser vías de acceso incontrolables de todo tipo de insectos.

Por lo tanto, es de vital importancia anular toda vía de comunicación innecesaria con el exterior. Para ello, deberán bloquearse canalizaciones, juntas, grietas y demás zonas de acceso de este tipo, ejecutando siempre una vigilancia y protección de los conductos estrictamente imprescindible (García, 2019).

j) Tratamientos preventivos con antisépticos

El compañero más apropiado para todos los sistemas expuestos previamente es la ejecución de otorgar al medio ambiente una calidad inhóspita e indeseable para todas las especies que buscan alojarse en los depósitos de archivos.

Dicha dotación se alcanza mediante la aplicación de diversas sustancias antisépticas (desinsectantes y desinfectantes) de manera periódica y de acuerdo con la intensidad de las dosificaciones (fuertes o suaves) y según las condiciones climáticas, las cuales podrán resultar más o menos favorables para el avance de las especies.

Los antisépticos, tal y como se comentó en el capítulo de *Restauración*, pueden ser aplicados por sublimación o por pulverización, basándose en el producto que se haya seleccionado para dicha actuación (García, 2019).

10.2.5 Fuego

El primer paso para realizar el control de la presencia del fuego se basa en la anulación de cualquier elemento que pueda favorecer su creación o potenciación, ya sea en lo referente al mobiliario, instalaciones eléctricas, etc. En el caso de que esta primera medida protectora no surtiera el efecto esperado, se tendrán que ejecutar las pertinentes medidas correctivas para la contención del mismo (García, 2019).

Sin embargo, como la documentación patrimonial es un material de fácil combustión, es esencial contar con medios de detección y extinción que registren el problema, trasladen la alarma y ejecuten supresión del fuego (García, 2019).

Los sistemas para combatir el fuego son (Crespo & Viñas, 1985):

10.2.5.1 Sistemas de detección

Los sistemas de detección permiten identificar y ubicar la existencia del fuego mediante la detección de los gases, humos, llamas o calor que va unido a toda materia en combustión.

La modalidad más general se basa en la instalación de detectores, dispositivos sensibilizados a la presencia de un incendio. Los aparatos más convenientes para las bibliotecas y archivos suelen ser los detectores de humo y gases. Asimismo, de entre ellos, los más extendidos en este ámbito son los de ionización. Todos los dispositivos de detección cuentan con un sistema de alarma, el cual puede estar conectado directamente a los servicios de bomberos o a la propia instalación de extinción automática del archivo.

10.2.5.2 Sistemas de extinción

Aparte de aquellos sistemas de extinción de incendios basados en medios más o menos improvisados, existen una serie de agentes extintores de especial aplicación, de acuerdo a las particularidades de los materiales a proteger.

Dichos agentes funcionan a través del enfriamiento o la sofocación, aplicándose a través de instalaciones fijas, del tipo manual o automático, o con aparatos portátiles. No obstante, ambas opciones deberán estar disponibles para poder adjuntarse la una a la otra según las necesidades del archivo.

Asimismo, en el mercado también pueden encontrarse agentes extintores líquidos (agua y espuma), sólidos (polvos regulares y polivalentes) y gaseosos (dióxido de carbono, halógenos). Tomando en consideración las características de los materiales celulósicos, los extintores más aconsejables son los de polvo polivalente y el halón entre los gaseosos. A pesar de ello, el agua será, en definitiva, la opción más resolutiva cuando se han superado las anteriores medidas.

11 CONCLUSIONES

Tanto el origen y desarrollo histórico como los componentes de las tintas ferrogálicas han sido cuestiones bastante investigadas en los últimos años, con el objetivo de conocer a fondo sus alteraciones y poder elaborar las mejores propuestas para su conservación.

A día de hoy, se tienen bien determinados los diferentes tipos de tintas ferrogálicas existentes en los documentos patrimoniales, de acuerdo a su composición; además de tener claramente identificados los principales mecanismos, causas y efectos de su deterioro. Dicho conocimiento resulta de vital importancia a la hora de ejecutar la conservación y restauración de las obras, puesto que para la correcta preservación de los acervos documentales es indispensable conocer los materiales que los conforman, sus características principales, sus riesgos y alteraciones.

Por ello, también es fundamental determinar las limitaciones y posibilidades en lo referente a tratamientos de estabilización para documentos con tintas, ya que la ausencia de conocimiento al respecto puede originar una mala praxis; propiciando un mayor daño que beneficio a largo plazo.

En consecuencia, ha tenido lugar la aparición de un principio predictivo de gestión de riesgos, el cual se encuentra compuesto por una identificación, análisis, evaluación y tratamiento de riesgos. Con dicho criterio de predicción, se logra realizar un diagnóstico y establecimiento de prioridades en documentos con tintas ferrogálicas, confeccionando modelos específicos para la evaluación y control de riesgos en este tipo de obras.

La aplicación de estos modelos trae consigo numerosas ventajas, las cuales se basan en la identificación, evaluación y control de riesgos actuales de los documentos, así como de los posibles riesgos a producirse en un futuro. Asimismo, los modelos posibilitan detener, corregir y prevenir los daños provocados por las tintas. Por tanto, estos modelos resultan una herramienta extremadamente útil para el establecimiento de prioridades en el diagnóstico de los documentos con tintas.

En cuanto a los tratamientos de estabilización de documentos con tintas ferrogálicas, pueden encontrarse una amplia variedad de alternativas, las cuales se corresponden a la heterogénea problemática existente y detectada durante el diagnóstico de las obras. Como es lógico, todos los tratamientos albergan sus ventajas e inconvenientes, así como los posibles riesgos a desencadenarse si se aplicaran, por lo que es imprescindible conocerlos y evaluarlos en profundidad antes de ejecutar el tratamiento.

La estabilización química más fructífera para documentos patrimoniales con tintas ferrogálicas que presentan un exceso de iones de hierro es el tratamiento basado en el empleo de fitato de calcio, bicarbonato de calcio y gelatina tipo B. Dicho procedimiento es un tratamiento acuoso, por lo que su eficacia se basa en la cantidad de agua usada a lo largo del mismo. Además, se caracteriza por ser de larga duración, lo que limita en gran parte la cantidad de documentos que puede estabilizar, ya que no es un procedimiento que pueda aplicarse de forma masiva o en una obra con elementos sensibles al agua, así como su incapacidad para estabilizar iones de cobre.

Por el contrario, la estabilización química no acuosa (basado en el uso de antioxidantes en solventes orgánicos) sí puede ser aplicada de forma masiva, presentando también la capacidad de estabilizar al cobre y otros metales de transición. No obstante, dicha alternativa todavía se encuentra en fase de investigación, pero es una opción bastante atractiva puesto que posibilitaría la estabilización química de fondos documentales completos, con independencia de la composición de sus tintas ferrogálicas.

Asimismo, otra vía de estabilización no acuosa se basa en la desacidificación de documentos con tintas ferrogálicas mediante la aplicación de nanopartículas de calcio o magnesio en solventes orgánicos. Esta opción aún se encuentra en fase de desarrollo y requiere todavía una mayor investigación sobre la probable migración de los componentes de la tinta al aplicar las nanopartículas con el solvente propuesto.

En lo que respecta a la estabilización mecánica de documentos con tintas ferrogálicas que muestran un avanzado estado de corrosión de la tinta o que precisan de un refuerzo estructural por otros motivos, la alternativa más interesante es el empleo de adhesivos reactivados con solventes orgánicos, ya que supone menos riesgo en cuanto a la migración de los iones metálicos y el ácido sulfúrico. El más evaluado y aplicado hasta la fecha es el adhesivo Klucel G[®] reactivado con alcohol etílico. Tanto su eficacia a largo plazo, como la optimización de su aplicación para mitigar todo lo posible los riesgos por migración de los componentes de la tinta, todavía están en fase de investigación. No obstante, resulta una de las mejores alternativas actuales para el tratamiento local de documentos con tintas ferrogálicas que no tienen la oportunidad de ser estabilizados químicamente, pero que sí precisan de una estabilización mecánica.

Una línea de investigación muy interesante para la estabilización es aquella en la que se realiza el intercalado de papeles impregnados con bromuro de sodio (antioxidante) entre los documentos sueltos con tintas ferrogálicas. Ello permite que la composición original de los documentos se mantenga, pero provoca pérdida de resistencia de aquellos soportes que tienen contacto directo con los papeles impregnados. Por ello, sería interesante evaluar otros antioxidantes para la impregnación, teniendo siempre presente evitar la generación de cualquier tipo de daño a corto y largo plazo.

Finalmente, es indispensable llevar a cabo medidas de conservación preventiva en fondos documentales, ya que suponen un gran beneficio para la permanencia y protección a largo plazo de los mismos. Con independencia de poder utilizar tratamientos de estabilización directa, todos los documentos pueden someterse a las medidas de conservación, siendo una prioridad en los archivos su implementación. Una de las principales ventajas de ello es su aplicación de forma masiva, favoreciendo a fondos documentales completos, algo que no ocurre en los tratamientos puntuales anteriores, donde los recursos se orientan a una cantidad limitada de documentos. En lo que respecta a la aplicación de las pertinentes medidas de conservación preventiva de conjuntos documentales con tintas ferrogálicas, se controlan de manera minuciosa las principales causas extrínsecas de la corrosión de dichas tintas: niveles altos o fluctuaciones de humedad relativa y temperatura y la constante manipulación de los documentos. Con ello, se atenúa considerablemente el riesgo de que el deterioro continúe o comience, contribuyendo a la adecuada permanencia de los documentos.

En conclusión, los múltiples avances acaecidos en los últimos treinta años en la historia, deterioro y conservación de documentos con tintas ferrogálicas han sido considerables y variados. A pesar de ello, aún quedan numerosos caminos por investigar, así como una elevada cantidad de documentos por descubrir, analizar, tratar y conservar.

REFERENCIAS

- Adelstein, P. (2004). *IPI Media Storage Quick Reference*. Rochester.
- Anxova. (2016). *La tinta medieval*. Obtenido de <https://leriasvarias.wordpress.com/2016/10/17/la-tinta-medieval/>
- Argerich, I. (2010). *Conservación preventiva y Plan de Gestión de Desastres en archivos y bibliotecas*.
- Asensi, M. C. (2014). *Diagnóstico y proceso de intervención de un manuscrito del siglo XVII*.
- Auñón, F. (s.f.). *Papiros, pergaminos y papeles, los soportes en los que se ha escrito la historia*. Obtenido de https://cadenaser.com/emisora/2018/04/26/ser_cuenca/1524748708_045916.html
- Ávila, P. (2018). La aventura africana de los Quti. . *Fondo Kati*.
- Axer, P. (2003). Ink corrosion: part 1. . *Workshop on the conservation of archive material handouts*.
- Baker, C. (. (1985). Comparison of Drawing Inks Using Ultraviolet and Infrared Light Examination Techniques. *Application of Science in Examination of Works of Art*.
- Banik. (1997). Decay caused by iron gall inks. *Proceedings of European workshop on iron gall ink corrosion, Museum Boijmans van Beuningen, Rotterdam. Holanda: ICN*.
- Banik. (1998). *Ink corrosion – Chemistry*. Recuperado el 2019, de The Iron Gall Ink Website: https://irongallink.org/igi_index22a4.html
- Banik. (2010). Some aspects concerning degradation phenomena of paper caused by green copper containing pigments.
- Bazemore, A. (2016). *Chelating soluble iron(II) from iron gall ink using calcium phytate in agar gel* .
- Bello, C., & Borrel, A. (2001). *El patrimonio bibliográfico y documental: claves para su conservación preventiva*.
- Belza, J. A. (2014). *Tipos de tintas*. Obtenido de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/tintas?OpenDocument>
- Betty, J. (1982). *roduction of alum and copperas in southern England*.
- Bicchieri, M., & Pepa, S. (1996). The degradation of cellulose with ferric and cupric ions in a low acid medium' . *Restaurator*.
- Botti, L. M. (2005). Calcium phytate in the treatment of corrosión caused by iron gal links: effects on pape. . *Restaurator*, 44-62.
- Botti, L., Mantovani, O., & Ruggiero, D. (2005). Calcium phytate in the treatment of corrosion caused by iron gal links: effects on paper. *Restaurator*, 1, vol.26, ii, pp. 44-62.
- Bringas, J. (2017). *Causas de deterioro del patrimonio documental*.
- Brückle, I. (1992). Aspects of the use of alum in historical papermaking. *Fairbrass, S.* ed. Reino Unido: Institute of paper conservation.
- BS 5454, B. S. (2000). *Recomendations for the storage and exhibition of archival documents* .
- Cainelli, J. C. (2015). *Goma arábica: un protector natural de los vinos*. Obtenido de <http://urbinavinos.blogspot.com/2015/04/goma-arabiga-un-protector-natural-de.html>
- Calvo, A. (1997). *Conservación y Restauración. Materiales, Técnicas y procedimientos de la A a la Z*.
- Carter. (1996). The chemistry of paper preservation part 2: the yellowing of paper and conservation bleaching.

- Journal of chemical education*, 11, vol.73, pp. 1068-1073.
- Carter, H. (1989). Chemistry in the comics part 3: the acidity of paper. *Journal of chemical education*, 11, vol. 66, 883-886.
- Chang, W.-M. (2015). *The fate of Timbuktu's literary and scientific heritage*. Obtenido de Melville House: <https://www.mhpbooks.com/the-fate-of-timbuktus-literary-and-scientific-heritage/>
- Child, M. (2000). *Políticas de colecciones y preservación*.
- Cleveland, R. (2000). Selected 18, 19 and 20 th century iron gall ink formulations developed in England, France, Germany and the United States, for use with the copy press process. *Postprints of the iron gall ink meeting*, University of Northumbria .
- Colordo, D. (2014). *Historia de la tinta*.
- Conway, P. (2000). *Importancia de la preservación en el mundo digital y lecturas seleccionadas*.
- Crespo, C., & Viñas, V. (1985). *La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*.
- CTS, E. S. (2020). *KLUCEL® G*. Obtenido de <https://shop-espana.ctseurope.com/103-klucel-g>
- Daniels, V. (2000). The chemistry of iron gall ink. *Postprints of the iron gall ink meeting*, University of Northumbria .
- Daniels, V. (2001). The chemistry of iron gall in. *The Iron Gall Ink meeting: triennial conservation conference*.
- Desroches, M., Duplat, V., & Rouchon, V. (2012). An aqueous treatment for highly damaged manuscripts: minimising the risk of mechanical damage . *Journal of paper conservation*, 3, vol. 13.
- Diadié, I. (2005). Los Moriscos de Andalucía. *Andalucía en la historia*.
- Diadié, I., & Pimentel, M. (2004). *Los otros españoles: manuscritos de Tombuctú*.
- Dioscorides, P. (n.d.). *De Materia Medica Liber I*.
- Doménech, C. M. (2013). *T. Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*.
- Dorning, D. (2000). Iron Gall inks: variations on a theme that can be both ironic and galling. *The Iron Gall Ink meeting: triennial conservation conference*.
- Ecured. (2020). *Pergamino*. Obtenido de Ecured: <https://www.ecured.cu/Pergamino#Caracter.C3.ADsticas>
- EcuRed. (2020). *Punto isoeléctrico*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Punto_isoeléctrico
- Entwistle, D. e. (1949). *Textile Restauration*.
- Eusman, E. (1998). *Iron gall ink - History*. Obtenido de The Iron Gall Ink Website : https://irongallink.org/igi_index8a92.html
- Fani, S. (2013). *Un Orientale Napoli*.
- Flemy, M. (21 de Marzo de 2013). *Iron Gall Ink*. Recuperado el 2019, de Inks and pigments: <https://travelingscriptorium.library.yale.edu/2013/03/21/iron-gall-ink/>
- Gallo, F. (1985). *Facteurs biologiques de deterioration du papier*.
- García, R. (2019). *Efecto de los factores ambientales en los materiales constitutivos de manuscritos históricos: réplicas de papel y tintas*.
- Gayoso, C. G. (1994). *Historia del papel en España. Tomo I*.
- Gayoso, C. G. (2011). *Historia del papel XV-XIX (Vol. II)*.
- GE, G. E. (2020). *Klucel G*. Obtenido de <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/adhesivos/klucel-g/>
- Gelita. (2020). *Propiedades de la interfaz*. Obtenido de GELITA, Improving Quality of Life: <https://www.gelita.com/es/conocimientos/gelatina/propiedades-de-la-gelatina/textura/propiedades-de->

- la-
interfaz#:~:text=La%20gelatina%20alcalina%20(tipo%20B,previo%20alcalino%20de%20materias%
20primas.
- Gersten, T. (2011). The treatments of iron-gall inks: possibilities and questions. . *The Royal Library of Copenhagen. Choices in Conservation: practice versus research, extended abstracts from the interim meeting, graphic documents working group.*
- Giorgi, R., Dei, L., Cecato, M., Schettino, C., & Baglioni, P. (2002). Nanotechnologies for conservation of cultural heritage. *Langmuir*, 18.
- Grant, J. (1958). *Cellulose Pulp and allied Product.*
- Grañén. (2010). *Panorama de la conservación del Patrimonio Documental.*
- Groot, S. (1999). *Ink corrosion: comparison of currently used aqueous treatments for paper objects.* Recuperado el 2019, de 9th International Congress of IADA, Copenhagen: https://www.iada-home.org/ta99_121.pdf
- Guadalupe, I. G. (2007). *El tesoro mejor guardado de Tombuctú.*
- Guild, S., Tse, S., & Trojan-Bedinsky, M. (2008). Treatment options for iron gall ink on paper. *Canadian Conservation Institute.*
- Guillemard, D. (1992). *La conservación préventive.*
- Handmade. (2017). *Una encrucijada de razas, culturas y sabores entre Centroamérica y el Caribe.* Obtenido de Steemit: <https://steemit.com/spanish/@handmade/una-encrucijada-de-razas-culturas-y-sabores-entre-centroamerica-y-el-caribe>
- Hawley, G. (1992). *Diccionario de química y de productos químicos.*
- Hernandez, F. (2014). *Conservación y restauración preventiva.* Obtenido de <http://www.bcn.cat/museupicasso/es/museo/servicio-restauracion.html>
- Hidalgo. (2005). *El papel de los manuscritos árabes e hispanoárabes: características materiales.*
- Hidalgo. (2011). *Técnicas medievales en la elaboración del libro: aportaciones hispanas a la fabricación del pergamino y del papel y a los sistemas de encuadernación. Anuario de Estudios Medievales*, 41(2), 755-773.
- IAPH. (2013). El fondo Kati de Tombuctú. Un patrimonio en peligro. *Revista ph84 panorama*, n°84.
- IAPH. (2018). *Fundación Fondo Kati.* Obtenido de <https://www.facebook.com/163193344045439/posts/590988644599238/>
- IAPH. (2019). *Proyecto IMAN: una investigación sobre los manuscritos del Fondo Kati.* Obtenido de Blog de la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico: <https://www.juntadeandalucia.es/cultura/blog/proyecto-iman-una-investigacion-sobre-los-manuscritos-del-fondo-kati/>
- ICOM-CC. (2008). Terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible. *Traducción al español de la resolución adoptada por los miembros del ICOM-CC durante la 15ª conferencia trienal.* Nueva Delhi.
- ISO 11799. (2003). *Information and documentation. Document storage requirements for archive and library materials. International Organisation for Standardization.*
- Jacobi, E., Reissland, B., Phan-Tan-Luu, C., & Velzen, B. y. (2011). Rendering the invisible visible: preventing solvent-induced migration during local repair on iron gall ink. *Journal of paper conservation*, 2, vol. 12, pp.25-34.
- James, C. (2000). The evolution of iron gall ink and its aesthetic consequences. *Postprints of the iron gal link meeting, University of Northumbria.*
- Karnes, C. (1998). *How to make ink – Ingredients. The Iron Gall Ink Website.* Recuperado el 2019, de Amsterdam: Cultural Heritage Agency of the Netherlands.: https://irongallink.org/igi_indexd7ce.html

- Keller, S. (2019). Por qué el papel prospera en el mundo digital .
- Kolar. (2005). Stabilisation of paper containing iron gall ink with current aqueous processes. *Restaurator*, 3, vo. 26., pp. 181-189.
- Kolar. (2006). *B. Historical iron gall ink containing documents. Properties affecting their condition.* Recuperado el 2019, de Analytica Chimica Acta [en línea]: <https://www-sciencedirectcom.accedys2.bbtk.uil.es/science/article/pii/S0003267005014765#>
- Kolar, J., Mozir, A., Strlic, M. d., Pihlar, B., & Steemers, T. (2007). Stabilisation of iron gall ink: aqueous treatment with magnesium phytate. *E-Preservation Science*, 4.
- Kolar, J., Strlic, M., Budnar, M., Malcsic, J., & Sclih, V. y. (2003). Stabilisation of corrosive iron gall inks. *Acta Chim. Sloc*, 50.
- Kolbe, G. (2004). Gelatine in historical paper production and as inhibiting agent for iron-gall ink corrosion on paper. *Restaurator*, vol. 25, pp. 26-39.
- Koura, A., & Krause, T. (1980). *Effect of altering fiber and sheet structure on the durability of paper.*
- La Lande, J. (1778). *El arte de hacer el papel, según se practica en Francia, y Holanda.*
- Leirar. (2007). *Celulosa de madera.* Obtenido de Monografías: <https://www.monografias.com/trabajos46/celulosa-madera/celulosa-madera2.shtml>
- León, C. (2012). *Elaboración del papel reciclado.*
- Library of Congress. (2012). *Lighting of library materials.* Obtenido de <http://www.loc.gov/preservation/care/light.html>
- Malesic, J., Kolar, J., Strlic, M., & Polanc, S. (2005). The use of halides for satabilization of iron gall ink containing paper: the pronounced effect of cation. *Preservation science*, vol. 2.
- Martin, A., & Rouchon, V. (2011). Local strengthening of mould damaged manuscripts *Journal of paper conservation*, 1, vol.12.
- Martín, G. (1965). *Físico-química del papel.*
- Mitchell, C. (1904). *Inks: their composition and manufacture.*
- Molins, S. (2013). A preliminary Appraisal of Marginalia in West African Manuscripts from the Mamma Haïdara Memorial Library Collection (Timbuktu).
- Muñoz, S. (2010). *La restauración del papel.*
- Naranjo, M. C. (2013). El fondo Kati de Tombuctú. Un patrimonio en peligro. *ph84 panorama.*
- Naud, C. (1992). *La conservación preventiva : una responsabilidad bien compartida.*
- Neevel. (1995). *Phytate: a potencial conservation agent for the tratment of ink corrosión caused by iron gall inks.*
- Neevel. (2002). (Im) possibilities of the phytate treatment of ink corrosión. *Contributions to Conservation: research in conservation at the Netherlands Institute for Cultural Herrytage.*
- Neevel. (2008). The history and treatment of works in iron gall ink.
- Neevel, J., & Mensch, C. (1999). The behavior of iron and sulphuric acid during iron gall ink corrosion. *Bridgland, J. ed. 12th triennial meeting.*
- Neevel, J., & Reissland, B. (2005). Bathophenanthroline indicator paper: development of a new test for iron ions. . *Papier restaurierung, 1. Vol. 6, , pp.28-36.*
- Nicolalde, B. M. (1960). *Análisis fisicoquímico de papel y solubilidad de tintas de libros que forman parte del patrimonio documental de Área Histórica del Centro de Información Integral de la Universidad Central del Ecuador.*
- Odor, A. (2013). *Tesis las tintas ferrogálicas: su historia, deterioro y estabilización.*

- Orión. (2016). *¿Quiénes escribieron los rollos del mar Muerto y cuáles eran sus creencias?* Obtenido de Israel desde adentro: <https://israeladentro.com/quienes-escribieron-los-rollos-del-mar-muerto/>
- Orlandini, V. (2009). Effect on aqueous treatments on nineteenth century iron-gall ink documents: calcium phytate treatment optimization of existing protocols. . *The book and paper group annual*, 28, pp. 137-146.
- Orozco, Á. (2019). *Estudio de alterabilidad de papel usado en manuscritos históricos andalusíes. Efecto de los factores de deterioro en propiedades físicas y mecánicas.*
- Pacheco, A., & Mendia, G. (2013). *Documentos de trabajo U.C.M. Biblioteca Histórica. Preparación de gelatina alcalina.*
- Page, S. (1997). *Conservation of nineteenth-century tracing paper: a quick practical approach.* Obtenido de www.cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v16/bp16-09.html
- Panyella, I. (2005). El papiro egipcio: el primer libro de la historia. *Revista TK*, 17, 17-23.
- Pascual, E. (2005). *Conservar y restaurar papel.*
- Pedro. (2019). *Sulfato ferroso.* Obtenido de <https://www.sulfato.top/sulfato-ferroso/>
- Pérez. (1993). *Restauración y rehabilitación: documentos.*
- Pérez, K. (2019). *Palo de Campeche, el tinte prehispánico codiciado por los colonos europeos.* Obtenido de México desconocido: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/palo-de-campeche-tinte-prehispanico.html>
- Poggi, G., & Baglioni, P. y. (2011). Alkaline earth hydroxide nanoparticles for the inhibition of metal gall ink corrosion. *Restaurator*, vol. 32, pp. 247-273.
- Poggi, G., Giorgi, R., Toccafondi, N., Katur, V., & Baglioni, P. (2010). Hydroxide nanoparticles for deacidification and concomitant inhibition of iron gall ink corrosion of paper. *Lagmuir*, 26.
- Ramírez. (2016). *Los libros también enferman.* Obtenido de Mefistófeles aprendió gramática: <https://mefistofelesaprendiogramatica.wordpress.com/2016/10/07/los-libros-tambien-enferman/>
- Ramírez, M. C. (2002). *WebIslam.com.*
- Reissland. (1999). Ink corrosion aqueous and non-aqueous treatment of paper objects: state of the art. *Restaurator*, vol. 20., pp 167-180.
- Reissland. (2000). Visible progress of paper degradation caused by iron gall inks. *En: Postprints of the iron gall ink meeting, University of Northumbria, 4-5 september 2000. Jean A. y Brown E. ed. Newcastle: University of Northumbria.*
- Reissland. (2010). *Ink corrosion - Slow changes over time.* Recuperado el 2019, de The Iron Gall Ink Website: <https://irongallink.org/igi>
- Reissland, B. (2008). The history and treatment of works in iron gall ink. Brasil.
- Reissland, B., & Hoffenk de Graaff, J. (2000). Condition Rating of Iron Gall Ink Corroded Paper Objects.
- Reissland, B., Ligterink, F., & Phan-Tan-Lu, C. (2010). *Ink corrosion: slow changes over time.* Obtenido de https://irongallink.org/igi_indexfed1.html
- Reissland, B., Schepper, K., & Fleischer, S. (2007). *Phytate: an answer with new questions.* Obtenido de http://www.irongallink.org/igi_index1b67.html
- Remazeilles, C. (2001). *Etude des processus de dégradation des manuscrits anciens écrits à l'encre ferrogalique.* París.
- Rodríguez, M. (2018). Estado de conservación de tintas metaloácidas: los protocolos notariales de Juan de Anchieta.
- Rouchon. (2008). Iron gall ink aqueous treatments: measurement of elemental changes by proton induced X-ray emission. *Papier restaurierung*, 2, vol.9, , pp. 18-28.

- Rouchon, V. (2011). *Room-temperature study of iron gall ink impregnated paper degradation under various oxygen and humidity conditions*. Recuperado el 2019, de time-dependent monitoring by viscosity and x-ray absorption near-edge spectrometry measurements. *Analytical Chemistry*: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01433102/document>
- Rouchon, V., & Durocher, B. (2006). Aqueous treatment on iron gall ink artifacts: evaluation of side effects. ., (págs. The second iron gall ink meeting, University of Northumbria, January 2006).
- Rouchon, V., Desroches, M., Duplat, V., & Letouzey, M. y.-P. (2012). Methods of aqueous treatments: the last resort for badly damaged iron gall ink manuscripts. *Journal of paper conservation*.
- Sagüés, F. (2010). *Arte en letras: Orígenes de la tinta*. Obtenido de <https://arte-en-letras.blogspot.com/2010/05/las-tintas-se-vienen-usando-desde-el.html>
- Sánchez, & Priebe. (s.f.). *Tratamiento de hongos*. Obtenido de <https://sanchez-priebe.com/restauramos/tratamiento-de-hongos/>
- Sánchez, J. (2003). *Viajes y Viajeros*. Obtenido de El periplo de una biblioteca.
- Sellink, M. (1998). *Ink corrosion: The role of collection keepers*. Obtenido de http://www.irongallink.org/igi_index8601.html
- Shafizadeh, F., & Bradbury, A. (1979). Application polym. . *Restaurator*.
- Shahani, C. ., (1986). The influence of Copper and Iron on the Permanence of Paper. *Historic Textile and Paper*.
- Sistach. (1990). Scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray microanalysis applied to metallogallic inks. *ICOM Committee for conservation Vol II Working group 14 Graphic Documents*, pp 489-493.
- Sistach. (1998). Fourier Transform Infrared Spectroscopy Applied to the Analysis of Ancient Manuscripts. *Restaurator*, pp. 173-186.
- Stijnman, A. (2004). *Historical Iron-gall Ink Recipes*.
- Strlic, M., & Kolar, J. (2002). Evaluating and enhancing paper stability: needs and recent trends. *Protection and treatment of paper, leather and parchment. 5th conference of cultural heritage*. Polonia.
- Stroud, J. (1990). Inks on Manuscripts and Documents. *Journal of Forensic Document Examination*, 3.
- Stuart, B. (2007). *Analytical techniques in materials conservation*. Chichester (Inglaterra): John Wiley & Sons.
- Tacón, J. (2005). *La conservación en archivos y bibliotecas: prevención y protección*.
- Tacón, J. (2011). *Nuevos avances para la estabilización de la corrosión de tintas metaloácidas*. Obtenido de Folio Complutense: <https://webs.ucm.es/BUCM/blogs/Foliocomplutense/4708.php>
- Tejedor, A. S. (1999). *Tecnología de la celulosa. La industria papelera*. Recuperado el 2019, de Química Orgánica Industrial: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>
- Temboury, L. (2009). *Fondo Kati. ¿Por qué España?* Obtenido de <http://historia-por.blogspot.com/2009/02/>
- Tesauros. (2020). *Tesauros del Patrimonio Cultural de España*. Obtenido de Papiro: <http://tesauros.mecc.es/tesauros/materias/1182881.html>
- Textos, c. (28 de Diciembre de 2005). *Textos científicos*. Obtenido de Historia del papel: <https://www.textoscientificos.com/papel/historia>
- Thompson, J., & Lindblad, C. (1996). *Manuscript inks*. Portland. : Caber Press.
- Titus, S., Schneller, R., Huhsmann, E., Hähner, U., & Banik, G. (2009). Stabilising local areas of loss in iron gall ink copy documents from the Savigny estate. *Restaurator*, 30.
- Torres, M. d. (2012). *Normalización del proceso de elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz (Zea Mayze) (Doctoral dissertation)*.
- Trestaller. (2020). *Dip. Valencia*. Obtenido de <http://trestaller.es/gallery/restauracion-libros-s-xv-xix/>

- Tse, S., & Waller, R. (2008). Development of an iron gall ink risk model. . *Preprints of ICOM Committee for Conservation, 15th Triennial Meeting* (págs. 22-26). New Delhi: Bridgland, J. ed. ICOM.
- Tse, S., Trojan-Bedynski, M., & St-Jaques, D. (2012). Treatment considerations for the Haggadah Prayer Book: Evaluation of Two Antioxidants for Treatment of Copper-Containing Inks and Colorants.
- Vaillant, M., & Valentín, N. (1996). *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*.
- Valls, O. (1994). *La historia del papel en España, siglos X-XIV (Vol. I)*.
- Vergara, J. (2002). *Conservación y restauración de material cultural en archivos y*.
- Vinther Hansen, B. (2005). Improving ageing properties of paper with iron-gall ink by interleaving with papers impregnated with alkaline buffer and antioxidant. *Restaurator*, 26, 190-202.
- Webmeichant, C. (2020). Obtenido de <https://www.celticwebmerchant.com/es/nuez-de-agalla-para-tinta-80-gramos.html>
- Williams, J. (1977). Metallic Catalysts in the oxidative degradation of paper. *Preservation of paper and textiles*, pp 37-61.
- Yarto, A. (2000). *Limpieza de productos de corrosión en exvotos al óleo sobre lámina de hojalata. Tesis inédita para optar por el título de Licenciado en restauración de bienes muebles*. .
- Yubero, F. (2011). *Papiro, antigua base de escritura*. Obtenido de <https://lanaveva.wordpress.com/2011/07/02/8447/>
- Zappala, A., & De Stefani, C. (2005). Evaluation of the effectiveness of stabilization methods: treatments by deacidification, thehalose and phytates on iron gall inks. . *Restaurator*, 1, vol. 26, pp. 36-43.

