



Universidad
Internacional
de Andalucía

TÍTULO

**ESTUDIO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA PULPA DE PAPEL
COLOREADA EMPLEADA EN LA REINTEGRACIÓN DE SOPORTES DE
DOCUMENTO GRÁFICO**

AUTORA

Julia Santos Robles

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2025

| | |
|-----------------|--|
| Tutora | Dra. Ana María López Montes |
| Instituciones | Universidad Internacional de Andalucía; Universidad de Granada |
| Curso | <i>Máster Universitario en Métodos Avanzados en Conservación y Restauración de Bienes Culturales (2023/24)</i> |
| © | Julia Santos Robles |
| © | De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía |
| Fecha documento | 2024 |



Universidad
Internacional
de Andalucía



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA PULPA DE PAPEL COLOREADA EMPLEADA EN LA REINTEGRACIÓN DE SOPORTES DE DOCUMENTO GRÁFICO.

Julia Santos Robles

Tutora: Ana María López Montes

Máster en Métodos avanzados en conservación y
restauración de Bienes Culturales

Facultad de Bellas Artes
Convocatoria septiembre 2024



Declaración de Originalidad del TFM

(Este documento debe adjuntarse cuando el TFG sea depositado para su evaluación)

D./Dña. _____ Julia Santos Robles _____, con DNI (NIE o pasaporte) _____, declaro que el presente Trabajo de Fin de Máster es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citadas debidamente. De no cumplir con este compromiso, soy consciente de que, de acuerdo con la Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada de 20 de mayo de 2013, esto conllevará automáticamente la calificación numérica de cero [...] independientemente del resto de las calificaciones que el estudiante hubiera obtenido. Esta consecuencia debe entenderse sin perjuicio de las responsabilidades disciplinarias en las que pudieran incurrir los estudiantes que plagie.

Para que conste así lo firmo el 06/09/2024

Firma del alumno.

Resumen:

Este trabajo investigó cómo la luz, la temperatura y la humedad afectan la degradación de diferentes papeles. Se creó un muestrario con 10 tonos de papel, variando las proporciones de lino y algodón, y utilizando distintos colorantes.

Las muestras se sometieron a ciclos de envejecimiento acelerado en una cámara que simulaba condiciones extremas. Se midieron cambios en la acidez, resistencia a la doblez, color y dimensiones para evaluar el daño causado.

Los resultados de este estudio son de gran valor para la conservación del patrimonio documental, ya que permiten comprender mejor cómo proteger los materiales a largo plazo. La información obtenida será utilizada por el taller de Documento Gráfico del IAPH en Sevilla para mejorar sus técnicas de restauración.

Palabras clave:

Pulpa, Papel, Envejecimiento, Colorimetría, Conservación

Abstract:

This research investigated the impact of light, temperature, and relative humidity on the degradation of various paper types. A swatch book was created comprising 10 different paper shades, varying the proportions of linen and cotton fibers, and employing diverse colorants.

Samples were subjected to accelerated aging cycles within a chamber simulating extreme conditions. Changes in acidity, folding endurance, color, and dimensions were measured to assess the extent of damage.

The findings of this study are invaluable for the preservation of documentary heritage, as they provide a deeper understanding of how to protect materials over the long term. The acquired data will be utilized by the Graphic Document Workshop of the IAPH in Seville to enhance their restoration techniques.

Key Words:

Pulp, Paper, Aging, Colorimetry, Conservation

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN: | 2 |
| PALABRAS CLAVE: | 2 |
| ABSTRACT: | 2 |
| KEY WORDS: | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. CONTEXTUALIZACIÓN | 5 |
| 3. OBJETIVOS | 6 |
| 4. LA PULPA DE PAPEL | 7 |
| 4.1. DEFINICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS | 7 |
| 4.2. FABRICACIÓN DEL PAPEL | 12 |
| 4.3. FACTORES QUE AFECTAN A SU ENVEJECIMIENTO | 16 |
| 5. METODOLOGÍA | 20 |
| 5.1. REALIZACIÓN DEL MUESTRARIO | 20 |
| 5.1.1. Materiales y equipamiento | 23 |
| 5.2. ENVEJECIMIENTO | 26 |
| 5.3. ESTUDIOS REALIZADOS | 27 |
| 5.3.1. Exámenes realizados | 27 |
| 5.3.2. Materiales y equipamiento utilizado | 34 |
| 5.4. ANÁLISIS DE DATOS Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN | 35 |
| 5.4.1. Prueba de acidez | 35 |
| 5.4.2. Dimensiones, espesor y peso | 36 |
| 5.4.4. Prueba de color | 38 |
| 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 44 |
| 7. CONCLUSIONES | 46 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |
| LIBROS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS..... | 47 |
| RECURSOS WEB..... | 49 |
| NORMAS TÉCNICAS..... | 49 |

1. Introducción

En este Trabajo de Fin de Máster (TFM), se ha realizado un proyecto de investigación sobre cómo afectan ciertos factores de degradación como la luz, la temperatura y la humedad relativa, a los diferentes compuestos de un muestrario de probetas de papel, de 10 tonos diferenciados, realizado a partir de distintas proporciones de fibras de lino y algodón, y colorantes como el azul, el amarillo, el rojo y el pardo. Este muestrario se realizó en húmedo a partir de una reintegradora mecánica.

Para poder estudiar cómo afectan los factores de degradación ya citados a cada una de las muestras, se sometieron a una serie de ciclos de 0 horas, 24 horas, 48 horas, 72 horas y 144 horas en una cámara de envejecimiento acelerado, la cual estaba programada para recrear unas condiciones constantes de 80°C, 65% de HR e irradiancia de 550Wm⁻².

Para las variaciones físico-químicas sufridas por las muestras envejecidas en los diferentes ciclos, frente a las muestras sin envejecer, se realizaron una serie de exámenes. Estas pruebas fueron mediciones de la acidez, resistencia a la doblez, pruebas de resistencia del color con ayuda de un colorímetro y cambios dimensionales, de espesor y peso.

Estos estudios nos han permitido comprender el comportamiento y resistencia a una serie de agentes de degradación, información crucial y de gran valor para garantizar así una correcta preservación a largo plazo del patrimonio documental. Es por eso que este proyecto supone un objeto de estudio para el taller de Documento Gráfico del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH) en Sevilla, ya que los materiales empleados serán los mismos que se destinarán en las restauraciones futuras de dicho taller.

2. Contextualización

En el pasado, el taller de Documento Gráfico del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, precisaba, para la intervención de aquellas obras documentales que necesitaran de una reintegración mecánica, de un muestrario realizado con el compuesto llamado “Lino Color”. Este componente, mezcla de fibras de lino con un colorante de un cierto subtono amarillo apagado, implícito en cada uno de los tonos de un muestrario realizado por el IAPH antiguamente, se dejó de vender por la casa comercial Arte y Memoria, con lo que el taller de Documento ya no podía contar con él.

El muestrario antiguo del que se partía para la realización de las diferentes reintegraciones mecánicas ya no servía ya que, al quitar un componente de cada uno de los tonos del muestrario, el tono final variaba. Era imperativo la realización de un nuevo muestrario de colores sin la presencia del “Lino Color” en su composición.

3. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es la puesta en práctica de los conocimientos y habilidades adquiridas durante toda mi formación como restauradora y conservadora de bienes culturales especializada en Documento Gráfico tanto en el Grado Superior como en el Máster en Métodos Avanzados de Restauración y Conservación de Bienes Culturales. Por esta razón se ha escogido como objetivo la realización de un TFM de investigación en el ámbito de mi especialidad, el documento gráfico.

Debido a mi poca experiencia en trabajos de investigación, este proyecto tendrá también como objetivo el adquirir experiencia en el área de la investigación y poder así ampliar mis conocimientos y habilidades como profesional.

Como objetivo general tenemos la fabricación de un nuevo muestrario para el IAPH y su evaluación frente al paso del tiempo empleando diferentes pruebas y análisis.

Los objetivos específicos serán la realización de las diferentes pruebas a las que se someterá el muestrario, con sus diferentes proporciones de pulpa y colorantes, antes y después de su envejecimiento, y la comparación de dichos resultados obtenidos para saber cómo se comportan las muestras frente al paso del tiempo.

Todo ello nos permitirá obtener conclusiones sobre la resistencia de las diferentes muestras de papel al envejecimiento.

4. La pulpa de papel

4.1. Definición, características y tipos

El papel se ha definido tradicionalmente como “una hoja afieltrada de fibras formada sobre un tamiz fino a partir de una suspensión acuosa”. En la práctica, la mayor parte de los productos papeleros se fabrican también con aditivos no fibrosos. Mientras que la pulpa se define como el material fibroso para la fabricación del papel. Las fibras de pulpa son normalmente de origen vegetal, pero para algunas aplicaciones especiales se usan también fibras animales, minerales o sintéticas.¹

Como ya hemos visto, el principal componente del papel son las fibras, en su mayoría de naturaleza celulosa, que derivan del reino vegetal. Los árboles en la actualidad constituyen la fuente principal de materiales fibrosos debido a su amplia disponibilidad, su contenido en fibras, la variedad de tipos de fibras, los costes de su manejo y transporte, facilidad de almacenado, etc. Sin embargo, la utilización de las fibras madereras data tan solo tan solo de mediados del siglo pasado, las fibras no madereras han ocupado un lugar casi exclusivo durante nueve décimos de la historia del papel, aunque en la actualidad está volviendo un renovado interés por la utilización de estas plantas no madereras, habiéndose incrementado sustancialmente su utilización en los últimos años. Las principales razones de este renovado interés es su fácil disponibilidad como residuo agrícola, constituyen la principal o la única fuente aprovechable de fibras en determinadas zonas geográficas, se tiende a una disminución en la tala masiva e indiscriminada de árboles, etc. Se ha demostrado que seleccionando la mezcla apropiada de fibras no madereras y el proceso de pasteado adecuado, se puede producir cualquier calidad de papel.

Cada tipo de fibra tiene sus propias propiedades que las aportan al papel y que pueden ser radicalmente alteradas durante sus procesos de alteración. Así, las fibras largas y refinadas son las más adecuadas para la fabricación de papeles con elevada resistencia mecánica (algodón, lino, y la mayor parte de las coníferas convenientemente procesadas; el algodón proporciona también un alto volumen específico). La utilización de mezclas diferentes de fibras o pastas, puede dar lugar a productos finales con propiedades intermedias o combinaciones diversas de gran utilidad. (García Hortal, 1987)

Lino

El lino es originario de Asia, se cultiva por su semilla y por su fibra. Cuando se cultiva la fibra, se prefiere una alta densidad de siembra para evitar la ramificación de los tallos. Los haces fibrosos corticales se extraen fácilmente por el proceso de enriado y proporcionan unas fibras muy puras de una alta calidad técnica. Cuando se espera la madurez de las semillas, las fibras, un poco lignificadas, se vuelven muy duras y ásperas, se separan difícilmente y resultan menos adecuadas para la industria textil. Sin embargo, la industria papelera puede absorberlas porque el lijado elimina la lignina sin grandes dificultades.

¹ A. Smook, G. (1990). *Manual para técnicos de pulpa y papel*.

El corazón leñoso constituye aproximadamente el 70% del tallo. Tienen fibras muy cortas y produce una pasta no diferente a una frondosa. Cuando se cultiva por la fibra, los haces liberianos tienen una longitud de 30 a 90 cm; cuando se pretende la semilla, la planta es más corta, más ramificada, los haces de fibras son más cortos y, como ya se ha mencionado, no aptos para la producción textil. Sin embargo, la longitud de las fibras elementales es virtualmente la misma en ambos casos.²

La fibra elemental liberiana tiene una longitud comprendida entre 10 y 55 mm, con una media de 28-30 mm. El diámetro varía de 12 a 30 μm , con una medida de 20-22 μm . La relación longitud/diámetro, de alrededor de 1300:1, está entre las más altas de todas las fibras utilizadas en la industria papelera, siendo excedida sólo por la fibra de algodón, de la que se hablará más adelante. La pared de la fibra es muy gruesa y el lumen muy estrecho. La cantidad total de fibras en el líber es del orden del 20% del peso total del tallo.³ (Figura 1)



Fig.1: Fibras elementales liberianas del lino

Las propiedades papeleras que confiere la utilización de las pastas de lino son las adecuadas para la fabricación de papeles duros, resistentes, densos y permanentes. La pasta de lino es ideal para la producción de papeles delgados, resistentes, tales como el papel de cigarrillos, papeles avión, papel biblia y papales bond de bajo gramaje. También, debido a su pureza y resistencia, la pasta de lino es muy adecuada para la fabricación de papel moneda, papeles permanentes para registro, ...

Casi toda la pasta producida a partir de la estopa del lino cultivado por su semilla, se utiliza en la producción de papel de cigarrillos, en cuya composición se puede tolerar una proporción

² García Hortal, J. A. (1987). *Constituyentes fibrosos de pastas y papeles: Morfología Análisis Microscopio*.

³ Mc Govern, J. N. (1981). *Pulp and paper manufacture. En Other fibers: Vol. Vol 3: Secondary Fibers and Non-Wood pulping. Joint Textbook committee of the Paper industry.*

importante de pasta de fibra corta. La pasta procedente de la estopa del “lino textil” se usa comúnmente para la producción de papel moneda, papel registro permanente de alta calidad y papales de escritura de alta calidad (normalmente en combinación con pasta de algodón).

En el pasado muy utilizado en la producción de papeles, antes de la aparición de los procesos industriales a partir de la madera. Las pastas se obtienen, generalmente, a partir de un tratamiento alcalino.

Algodón

Las fibras estructurales procedentes de las materias primas fibrosas de origen vegetal que se han tratado hasta ahora, forman parte de un tejido más o menos denso que es necesario desintegrar para lograr la individualización de las fibras. Este tratamiento, en el que se conjugan acciones térmicas, química y/o mecánica, causa una inevitable alteración de los constituyentes celulósicos que afecta a la resistencia intrínseca de las fibras.

Las fibras de algodón son unidades individuales por naturaleza, con la ventaja adicional de que como fibras celulósicas son las formas más puras disponibles para el fabricante textil o papelerero.

En la semilla de algodón se distinguen dos tipos de células: unas largas, las fibras textiles, cuya longitud varia de 13 a 33 mm y si diámetro de 16 a 21 μm . Son células que forman filamentos, aplanadas y torcidas si están completamente maduras, de colocación diversa según la especie productora. Su relación longitud-anchura es de las más altas entre las fibras papeleras, siendo sólo aproximada por las fibras liberianas del ramio y lino. (Figura 2)

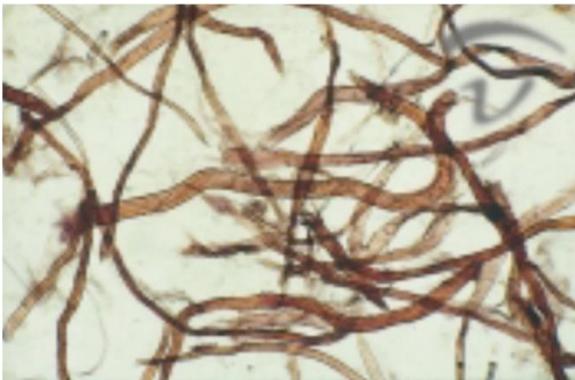


Fig.2: Fibras de algodón

Los trapos fueron la fuente principal de fibras de algodón para los papeles de algodón de alta calidad hasta la incorporación de los colores permanentes y las fibras sintéticas para usos textiles, que causó una disminución de la disponibilidad de trapos con 100% de algodón para la fabricación de papel. Estos cambios condujeron al desarrollo del uso de los linters (fibras cortas y finas que se encuentran en la superficie de las semillas de algodón) en papeles que contienen algodón. Estas fibras, demasiado cortas para ser aprovechadas por la industria textil y que anteriormente se usaban para la manufactura de productos derivados de la celulosa, son hoy día la fuente principal de fibras derivadas del algodón para la industria papelerera.

Observada al microscopio, esta fibra tiene un aspecto de cinta enroscada que presenta convoluciones a intervalos irregulares y no siempre en la misma dirección. La pared celular es relativamente delgada y el lumen constituye aproximadamente la mitad de la fibra. No presenta nudosidades transversales, aunque se puede observar débiles estriñas fuertemente inclinadas sobre el eje. Cuando estas fibras e incorporan a las pastas papeleras, deben ser cortadas a un tamaño conveniente, por lo que las extremidades naturales de la fibra raramente se encuentran. Con el reactivo de Herzberg se colorean de rojo vinoso.

Los linters son similares a las fibras de algodón, aunque se diferencian en cosas como por ejemplo que sus células son más cortas, más cilíndricas, de pared más gruesa, lumen más estrecho y más oscuras. La presencia de los linters se reconoce por la abundancia de extremos naturales de la fibra, uno de los cuales es afilado y el otro, el insertado en la semilla, tiene forma de amapola redondeada (Figura 3).

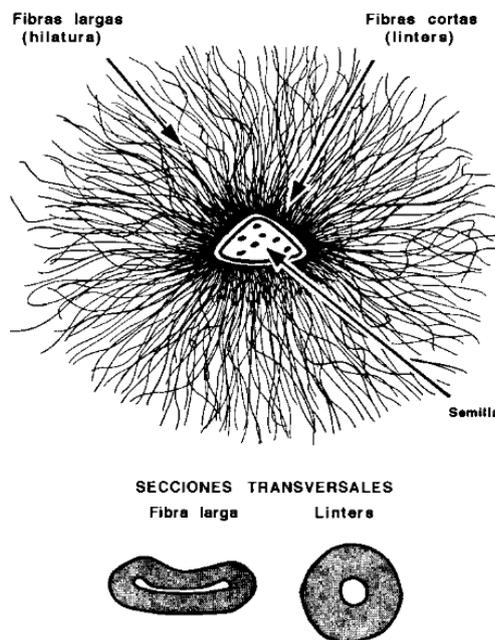


Fig.3: Representación esquemática de la sección de una semilla de algodón

Los linters se recomiendan en procesos que requieran la utilización de celulosa de alta pureza, tales como fabricación de productos de celulosa generada, nitrato de celulosa, celuloide, tripas para embutidos, etc. En la industria papeleras se utilizan en la manufactura de papeles en los que la pureza, durabilidad, permanencia, resistencia, suavidad, mano y opacidad son requisitos primarios. El alto precio del algodón limita su uso a papeles especiales que imponen un precio, adecuadamente elevado: papeles de artes, papeles de dibujo, papeles para impresión y escritura de calidad, papeles de seguridad mezclado con lino en la fabricación de papel moneda, papeles aislantes, papeles absorbentes, papeles para cromatografía, papeles finos

resistentes al envejecimiento por la luz y el calor (por su bajo contenido en grupos de carbonilo y carboxilo), etc.⁴

Tipos de pulpa:

- Pulpa mecánica de madera, también conocida como pulpa de madera molida, es una pulpa hecha de materias primas de fibra por método mecánico. Está producida por un sistema de separación mecánica o desintegración física de las fibras del material vegetal, principalmente madera, utilizando técnicas mecánicas como molienda o refinado. Desempeña un papel importante en la industria del papel ya que tiene como ventajas el bajo costo de producción, un proceso de producción simple, una fuerte absorción de la tinta, una alta opacidad, el papel es suave y liso, y, además, adecuado para requisitos de impresión. Sin embargo, debido a que sus fibras son cortas y menos flexibles, a su alta capacidad de retención de agua, a que la mayor parte de la lignina y otras no celulósicas de la madera no se ha eliminado, la resistencia del papel es baja, el papel producido es fácilmente amarilleable, quebradizo, rígido y poco resistente, por lo que se puede decir que no posee una buena conservación al paso del tiempo. Dentro de la pulpa de madera mecánica generalmente, existe la pulpa de madera mecánica blanca y la pulpa de madera mecánica marrón. La pulpa de madera mecánica blanca se utiliza principalmente para producir papel de periódico y también se puede mezclar con otras pulpas para hacer papel de escritura y papel de impresión; la pulpa de madera mecánica marrón se utiliza principalmente para producir papel de embalaje y cartón, especialmente cartón industrial. Este tipo de pulpa se utiliza típicamente para fabricar papel de periódico, cartón para revestimiento y otros papeles de menor calidad.
- Pulpa química: Producida por la disolución química de la lignina y otros componentes no fibrosos del material vegetal, principalmente madera. Sus fibras son más largas y flexibles, tiene un color más blanco debido a la eliminación de la lignina y posee una mayor resistencia y rigidez que la pulpa mecánica. Dentro de este proceso químico nos encontramos con:
 - Pulpa de madera de sulfato o pulpeado kraft utiliza una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio como agente de cocción (durante dos/cuatro horas a una temperatura de 170º/180ºC), contenida en un digestor a presión. El digestor posee tres zonas claramente diferenciadas: en la primera o superior los chips son impregnados del licor blanco y son sometidos gradualmente a alta temperatura, en la segunda o media se realiza la verdadera cocción de las astillas, y en la tercera o inferior la pasta es lavada con agua que entra a contracorriente. Este ataque alcalino de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio (pH 13) rompe las moléculas de lignina volviéndola soluble. En el proceso de cocción, debido a la acción suave del líquido, la fibra no se erosiona

⁴ García Hortal, J. A. (1987). *Constituyentes fibrosos de pastas y papeles: Morfología Análisis Microscopio*.

fuertemente, por lo que es fuerte y resistente. El papel obtenido posee una excelente resistencia al plegado y al desgarrar. La pulpa de madera kraft sin blanquear se puede utilizar para hacer papel kraft, papel de bolsa, papel de forro kraft, papel de embalaje y cartón, mientras que la pulpa de madera kraft blanqueada se puede utilizar para hacer papel de impresión de alta calidad, periódico, papel offset y papel de escritura.

A pesar de lograr papeles con mayor resistencia mecánica, la desventaja de estas pulpas es su color marrón oscuro que requieren un proceso de blanqueo más agresivo.

- La pulpa de madera de sulfito está hecha de una mezcla de sulfito y sulfito ácido (la cocción durante dos / cuatro horas y a una temperatura de 140º / 160º C). Este ataque químico ataca la lignina y la vuelve soluble, eliminándola en forma de ácido. El pH del licor de cocción suele estar entre 3 y 5. Como ventaja que presenta respecto a las pulpas kraft, las pulpas al sulfito son más claras y por lo tanto es menos complejo el blanqueado posterior, además tienen fibras largas, propiedades suaves, buena dureza, alta resistencia, blanqueo fácil y excelente capacidad de entrelazado. De acuerdo con el grado de refinado, se puede dividir en intachable, semi blanqueado y blanqueado. La pulpa sin blanquear contiene una pequeña cantidad de lignina e impurezas de color, por lo que es amarilla y la fibra es dura. Se utiliza principalmente para hacer papel de impresión mediana, papel de embalaje fino, papel translúcido y papel a prueba de aceite. La pulpa semi blanqueada contiene una gran cantidad de pentosas, por lo que se fabrica papel de rastreo transparente y pergamino de imitación. La fibra de pulpa blanqueada es blanca, pura y suave, pero su fuerza es menor que la de la pulpa sin blanquear. Este tipo de pulpa se utiliza principalmente para hacer todo tipo de papel de alta calidad.⁵

4.2. Fabricación del papel

El papel tiene su origen en China, aproximadamente a principios de nuestra era, este conocimiento del papel llega hasta los árabes en el siglo VIII y lo introducen en Europa a mediados del siglo X. En el siglo XI es el soporte escriturario más utilizado.⁶

La fabricación del papel tradicionalmente se iniciaba con la clasificación y troceado de los trapos, lavado, macerado y bateado para conseguir el desfibrado del material y así obtener, mezclando con agua, una buena pulpa o pasta, la cual es la materia prima para la fabricación del papel. La pulpa se extraía de sus contenedores (tinajas) por medio de un molde a modo de cedazo llamado forma (*Figura 4*).

⁵ Tipos y usos de pulpa de papel. (2021, 22 abril). China Paper Factory. Recuperado 8 de agosto de 2024, de <https://es.chinapaperfactory.com/news/types-and-uses-of-paper-pulp-43617823.html>

⁶ García Hortal, J. A. (1987). *Constituyentes fibrosos de pastas y papeles: Morfología Análisis Microscopio*

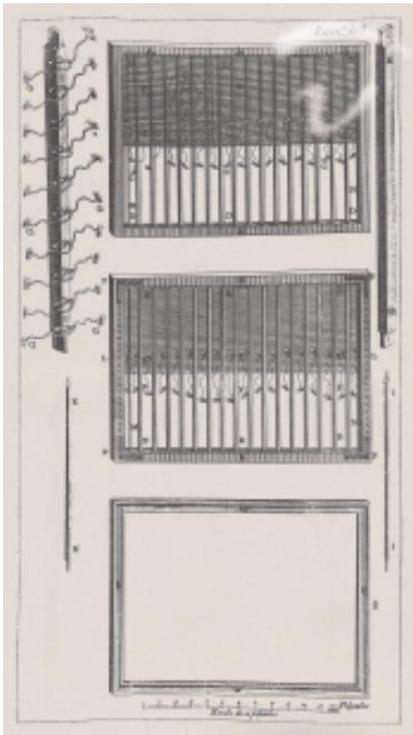


Fig. 4: Forma

Una vez evacuada el agua de la forma, la materia, convenientemente prensada y seca, pasaba a constituir la hoja de papel. La base de la forma eran hilos metálicos entrelazados con soportes llamados puntzones y corondeles, en que las fibras, en su movimiento natural de acoplamiento sobre la forma, se disponían evitándolos en su mayoría; las hojas fabricadas de este modo dejaban unas líneas traslúcidas, por haber recibido menos cantidad de pulpa que el resto de la superficie. El papel con estas características es el denominado verjurado. El aumento de molinos papeleros (*Imagen 6*) produjo una competencia de calidad, por lo que los papeleros comenzaron a marcar sus productos con un símbolo distintivo, que se adhería a la forma metálica. Su huella en la hoja de papel recibe el nombre de filigrana o marca de agua. El vertiginoso aumento de la demanda generó una búsqueda de alternativas a las fibras tradicionales y la incorporación de nuevas materias primas, que tuvo como resultado la fabricación de papeles de características y comportamiento físico muy diferente.⁷

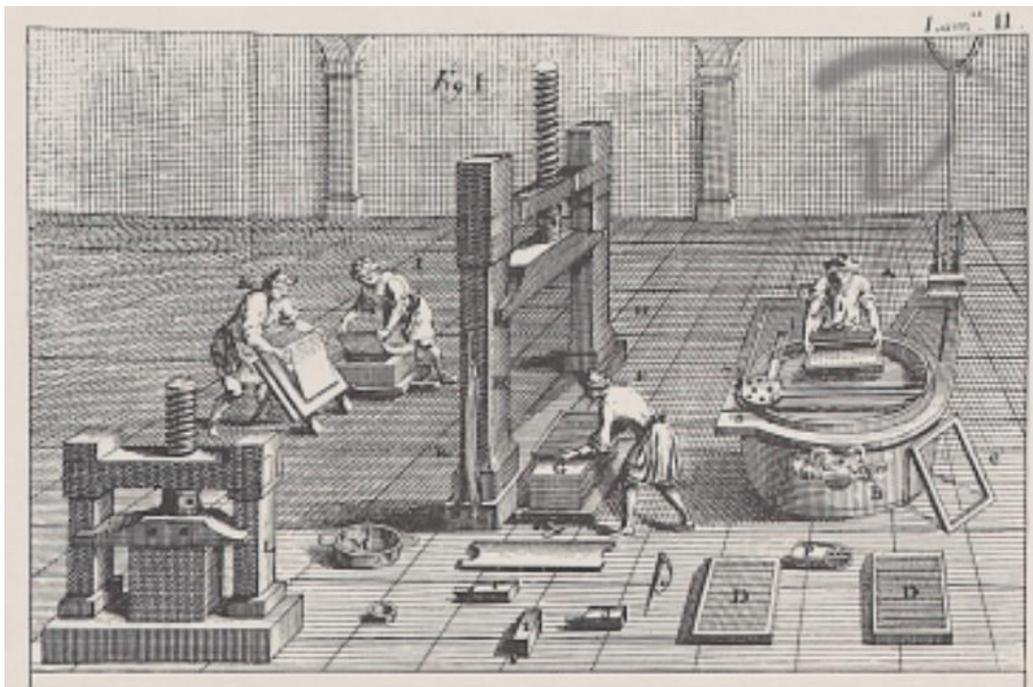


Fig.5: Grabado antiguo con la representación de un molino papelerero

La proliferación de molinos y la exigencia cada vez mayor de materia prima, potenció el desarrollo de la pila holandesa, instrumento que ayudó a la industrialización de la producción

⁷ Vergara Peris, J. (2001). *Conservación y restauración de material cultural en archivos y bibliotecas*

papelera, que deshilaba y desfibra los trapos con mayor eficacia y rapidez. Esta invención ayudó a obtener más rápidamente una pasta de papel más blanca y de mejor calidad. Además, evitaba la etapa donde se debía dejar el papel a remojo.

Hacia 1799 aparece un sistema mecánico, que va sustituyendo la tradicional forma de la hoja. Esta máquina, patentada por Louis Robert, estaba constituida por palas que se introducían en una cubeta de la máquina, sacaban una cantidad de pasta y la depositaban sobre una malla. Ésta imitaba los movimientos o sacudidas del papelero para escurrir el agua. Posteriormente esta pasta pasaba entre dos cilindros para expulsar el agua de la pasta, como se haría con una prensa, y el papel (de hasta 12 metros de papel continuo) se iba enrollando en una bobina. En 1804 los hermanos Fourdrinier construyeron con éxito la primera máquina de papel comercial. Las primitivas máquinas consistían en una caja que suministraba la pulpa a una tela móvil soportada entre dos rodillos. La hoja húmeda era posteriormente prensada y apilada por su eventual secado en forma de hojas. (A. Smook, 1990)

Desde la época de Louis Robert, la mesa plana ha sufrido una evolución continuada. Los componentes básicos actuales son:

- La entrada de pulpa: el objetivo de la tubería de entrada es disminuir las fibras uniformemente a lo ancho de la máquina.
- La caja de entrada: Esta caja presurizada disminuye la pulpa sobre la tela de formación en movimiento
- Tela: la tela sin fin en movimiento retiene las fibras en una hoja y permite a la composición drenar por gravedad y ser escurrida por succión.
- Sección de prensas: La hoja es transportada a través de una serie de prensas donde se elimina una parte del agua adicional y se consolida la hoja, es decir, las hojas son forzadas en un contacto íntimo.
- Sequería: La mayor parte del agua remanente es evaporada desarrollándose los enlaces entre las fibras al poner en contacto el pale con una serie de cilindros calentados con vapor.
- Lisa: la hoja es prensada entre rodillos metálicos para reducir su espesor y alisar su superficie.
- Enrolladora: el papel seco y alisado es enrollado en una bobina

La mesa plana, tal como ha sido descrita, puede ser considerada un diseño básico adaptable a un amplio rango de tipos de papeles. Muchas variaciones, modificaciones y operaciones auxiliares han sido desarrolladas para tipos y calidades especiales de papel. Por ejemplo, un amplio número de máquinas incorporan encolado superficial, estucado y/o tratamientos de alisado especiales. (A. Smook, 1990)

En la actualidad, los objetivos en la preparación de la pulpa, para la fabricación del papel, son procesar las materias primas fibrosas (pulpas) y los componentes no fibrosos (aditivos) y combinar estos constituyentes de manera continua y uniforme para preparar la composición a partir de la que se hará el papel. Normalmente incorpora operaciones como:

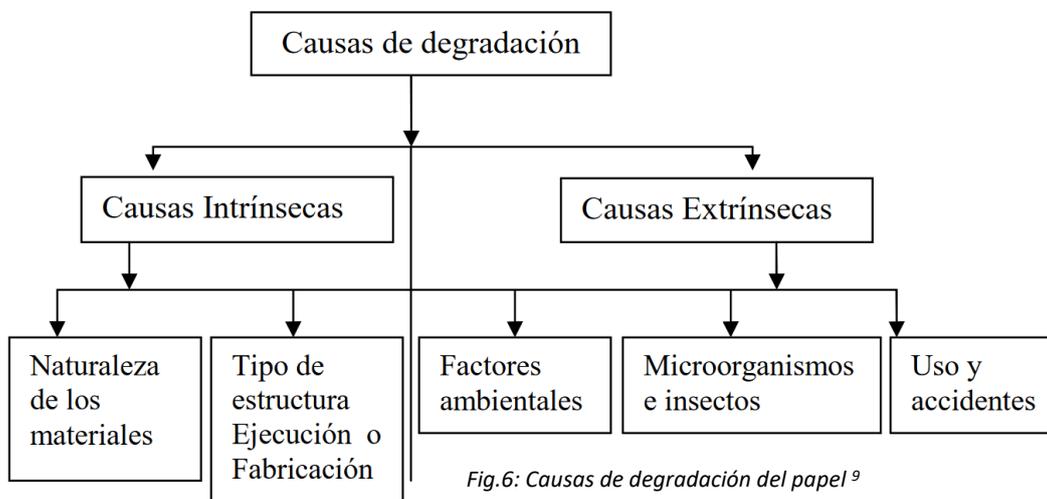
1. La desintegración, que puede ser definida como una acción mecánica que transforma las fibras de la pulpa en una suspensión. La acción del desintegrador puede solo tener como objetivo la obtención de una suspensión que pueda ser bombeada o que puede impartir suficiente energía para dispersar totalmente las fibras. La operación puede realizarse de manera continua o discontinua. Las diferentes materias primas papeleras tienen distintas necesidades de energía para su desintegración.
2. El refinado, traducido al inglés como “beating” y “refining”. El “beating” se refiere a la acción de unas cuchillas rotativas situadas frente a una platina cuando las fibras pasan perpendicularmente a las cuchillas. Esta operación se ejemplifica en la pila holandesa, primitiva máquina de refinar que todavía se utiliza en algunas fábricas de papel antiguas especialmente para procesar composiciones difíciles como el yute, el cáñamo, el lino y el algodón. “Refining” se refiere a la acción llevada a cabo en los refinadores continuos cónicos o de discos donde las fibras fluyen paralelamente los cauces de las cuchillas. En todos los casos, el objetivo es desarrollar o modificar las fibras de una forma óptima para los requerimientos específicos de una composición para fabricar papel. Aunque el refinado y la desintegración son operaciones consideradas separadas, en la práctica puede existir un solape considerable. Algunas modificaciones mecánicas de las fibras tienen lugar durante las operaciones de desintegración y dispersión. De la misma manera, un refinador es una máquina efectiva de desintegración. En esta acción de refinado las fibras son sometidas a una acción mecánica para desarrollar sus propiedades papeleras óptimas con relación al producto que debe fabricarse. Esta operación se realiza normalmente en continuo, pero algunas pulpas son todavía tratadas de forma discontinua.
3. La utilización de aditivos en la parte húmeda. Una gran variedad de productos químicos y aditivos minerales es utilizada para conferir propiedades específicas al producto final o para economizar el proceso de fabricación. La preparación es llevada a cabo, normalmente, de manera discontinua.
4. La medida y mezcla, los diferentes componentes de la composición es probable la función del sistema de preparación de pulpa más infravalorada, desde el punto de vista del gran perjuicio que puede ocasionar si no se realiza correctamente. Debe remarcar que la variación de la composición se manifestará en un comportamiento errático de la pulpa en la tela de formación, fluctuación de la respuesta de la hoja húmeda durante las siguientes etapas de la máquina de papel, y variabilidad en la calidad del producto.

La exacta proporción de pulpas y aditivos en la mezcla depende del control de la consistencia y el caudal de cada uno de los flujos de los componentes. Cuando la pulpa se suministra a partir de una tira de alta consistencia, se necesita una serie de etapas de dilución controlada y de mezclado para conseguir una consistencia uniforme. Los componentes fibrosos son normalmente introducidos en la tina de máquina a un nivel de consistencia entre 2,8 y 3,2%. Operaciones como el despostillado y el refinado son realizadas normalmente a niveles de

consistencia intermedia. Para una respuesta más óptima, las pulpas deberían ser refinadas individualmente, mejor que refinadas en mezcla.⁸

4.3. Factores que afectan a su envejecimiento

El envejecimiento del papel es un proceso complejo en el cual sufre variaciones en su estado original a través del tiempo. Las causas de degradación vienen dadas por reacciones físicas, químicas, biológicas y/o mezcla de todas ellas, tanto a nivel macroscópico como estructural. Estas causas están influidas por factores ambientales o extrínsecos (temperatura, humedad, luz, contaminantes, ataques biológicos, incorrecta manipulación...), por factores intrínsecos como el tipo de fibra, la naturaleza de los materiales, las diferentes sustancias que contenga el papel introducidas a la hora de su fabricación o que pertenezcan a la propia planta, por el tipo de proceso de fabricación, y por la conservación del papel a lo largo del tiempo (Figura 6).



Todo esto afecta a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, lo que a su vez puede conducir a una pérdida de calidad y funcionalidad. La degradación del papel son reacciones donde de una estructura polimérica de las cadenas de celulosa se obtienen fragmentos moleculares más pequeños. La estructura original se modifica al romperse los enlaces de las cadenas principales o grupos sustituyentes laterales. Estas roturas crean fragilidad al ser alterada la disposición de las moléculas y ordenarse de manera desordenada. Además, en los puntos de rotura se suelen formar uniones indeseables.⁹

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

- Degradaciones heterogéneas del exterior al interior de la hoja y homogéneas sobre el resto de la superficie.

⁸ A. Smook, G. (1990). *Manual para técnicos de pulpa y papel*.

⁹ De Lera Santín, A. (2011). *Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa*. [Tesis Doctoral]. Universidad del País Vasco.

- Pérdida de resistencia: el papel se vuelve más frágil y quebradizo.
- Decoloración: el papel se vuelve amarillento o adquiere un tono marrón y pierde brillantez.
- Aumento de la acidez o disminución del pH (lo vuelve más susceptible a la degradación)
- Pérdida de elasticidad por sequedad y aumento de la rigidez. El papel se vuelve más susceptible a romperse o desgarrarse.
- Disminución de la resistencia y de la fuerza mecánica del soporte. En ocasiones, la pérdida de la resistencia es tal que el papel no puede ser manejado manualmente.
- Absorción de gota: a medida que el papel envejece, sus fibras se vuelven más rígidas y menos porosas. Esto dificulta que el agua penetre en el papel, lo que aumenta el tiempo que tarda una gota de agua en ser completamente absorbida.
- Cambio dimensional: que se refiere a los cambios en las dimensiones del papel, como su tamaño y forma, juega un papel importante en el envejecimiento del papel. Las fibras de celulosa que componen el papel se hinchan y contraen con los cambios de humedad y temperatura, lo que provoca deformaciones en la hoja.
- Ruptura de cadenas y formación de nuevos grupos funcionales

Los factores ambientales que se recrean en la cámara de envejecimiento acelerado a los que se someterán las muestras, reproducen condiciones de luz, temperatura y humedad relativa muy perjudiciales para la pulpa por varios motivos.

Los factores ambientales pueden provocar reacciones físico-químicas como por ejemplo la fotodegradación causada por la luz o la termodegradación por la temperatura. Estas reacciones suelen ser provocadas por la exposición a rayos ultravioletas (UVA), calor, esfuerzos mecánicos de pliegues, etc., y el ataque suele empezar por los extremos de las cadenas y puntos de ramificación. En estos procesos influye mucho la presencia de oxígeno y agua puesto que intervienen en las reacciones de los radicales peróxidos. Como consecuencia el papel amarillea a causa de la creación de nuevos grupos cromóforos que absorben la luz, disminuyen sus propiedades mecánicas como las de rasgado, estallido, tensión y doblez, y disminuye la flexibilidad del papel.¹⁰

¹⁰ Vaillant Callol, M., & Valentín Rodrigo, N. (1996). *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro* (pp. 43-49). Ministerio de Educación y Cultura - Instituto del Patrimonio Histórico Español.

Luz

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

La iluminación correcta no debe superar los 50 lux/hora y las radiaciones de ultravioletas deben ser mínimas o nulas (máx. 75 μ watt/lumen).

La luz solar es la más perjudicial porque contiene una mayor cantidad de rayos ultravioletas e infrarrojos.

La luz infrarroja aumenta la temperatura y provoca la evaporación del agua, aumentando la sequedad del papel y favoreciendo la oxidación de las cadenas de celulosa.

La fotodegradación se produce cuando la luz absorbida por un material es mayor que la energía de enlace del polímero. La luz solar que irradia una obra de celulosa, puede provocar la fotólisis directa cuando la longitud de onda es mayor o igual a 254-300nm (luz ultravioleta) y la energía de ruptura originada está aproximadamente a 80-95kilocalorías por mol, lo que provoca la rotura de los enlaces C-C y C-O glucosídicos.¹¹

Por lo tanto, deben ser siempre controlados la longitud de onda, la potencia, y el tiempo de exposición para conservar los documentos y que no se produzcan la disminución del grado de polimerización, oxidación, hidrólisis del papel. Todo esto provoca que los papeles sean más quebradizos y amarillentos hasta su completa desintegración.¹²

Temperatura

La temperatura y humedad están estrechamente relacionadas. Debe compensarse la elevación de la primera con la bajada de la segunda y viceversa, para así controlar adecuadamente las condiciones de conservación. La temperatura debe estar comprendida entre los 16 y 20°C (+/- 18°C) porque sino puede provocar diferentes degradaciones:

Una temperatura bastante superior a 18°C, ligada a una alta humedad relativa, favorece el ataque y crecimiento de microorganismos e insectos.¹³

Por el contrario, una temperatura elevada y una humedad relativa baja, provoca que el papel se vuelva quebradizo porque los puentes interfibrilares de la celulosa

¹¹ De Lera Santín, A. (2011). *Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa*. [Tesis Doctoral]. Universidad del País Vasco.

¹² Del Castillo Negrete, M. (1995). *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*. Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México.

¹³ De Lera Santín, A. (2011). *Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa*. [Tesis Doctoral]. Universidad del País Vasco.

disminuyen, el envejecimiento natural se acelera causando que los adhesivos se resquebrajen y pierdan su función ¹⁴.

Las fuertes variaciones de temperatura y humedad también se deben evitar porque someten al papel a fuertes tensiones de dilatación y contracción, desquebrajando sus enlaces estructurales y por consecuencia al papel.

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

La termodegradación se produce cuando la energía calorífica provoca reacciones hidrolíticas en diferentes polímeros. Todos los enlaces pueden ser atacados sin distinción. En una primera fase, el tamaño molecular disminuye mucho, incluso a la mitad; y en una segunda fase, se producen nuevos elementos. Por otra parte, las reacciones hidrolíticas provocan la disminución de la viscosidad y con ello la pérdida de peso molecular¹⁵.

Humedad relativa

La humedad relativa (HR) para evitar la degradación de materiales celulósicos no debe ser superior al 65% o inferior al 45%, o tener fuertes variaciones. El papel es un material higroscópico y el agua influye mucho en las reacciones químicas y ataques biológicos, teniendo como resultado cambios estructurales, deformaciones y debilitamiento físico de las fibras. Los microorganismos necesitan una humedad relativa superior al 8-10% para desarrollarse y con una humedad relativa muy alta, superior al 75% el papel puede llegar a destruirse muy rápidamente. Además de esto, la humedad relativa alta también afecta a las colas debilitándolas y pudiendo pegar las hojas entre sí, a las tintas provocando manchas, etc. ¹⁶

Con fuertes variaciones de la HR se propicia los daños físicos en la estructura de la fibra. ¹⁷

¹⁴ Crespo, C., & Viñas, V. (1984). *La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, París.

¹⁵ Vaillant, M., & Valentín, N. (1996). *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Ed. Ministerio de educación y cultura IPHE, Madrid.

¹⁶ Del Castillo Negrete, M. (1995). *Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel*. Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México.

¹⁷ De Lera Santín, A. (2011). *Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa*. [Tesis Doctoral]. Universidad del País Vasco.

5. Metodología

5.1. Realización del muestrario

Para la preparación del muestrario el primer paso fue pesar la cantidad necesaria de algodón, lino y de cada color para la formación de los diferentes tonos del muestrario (*Tabla 1*). Se hicieron un total de diez tonos diferenciados, los cuales para poder diferenciarlos unos de otros, se nombraron con una letra del abecedario (desde la A hasta la J). Las proporciones de color, de lino o algodón de cada tono del muestrario son las siguientes:

| Muestrario | |
|---|---|
| <p>Muestra A</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,15 g pasta azul de algodón - 0,75 g pasta amarilla algodón - 0,1 g pasta rojo algodón - 7,5 pasta blanca algodón - 6,5 g pasta blanca lino | <p>Muestra F</p> <ul style="list-style-type: none"> - 8,5 g algodón - 6 g lino - 0,5 g amarillo |
| <p>Muestra B</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 g lino - 0,2 g azul - 1,8 g amarillo - 7 g algodón | <p>Muestra G</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6,75 g lino - 5,75 g algodón - 2,25 g amarillo - 0,25 g pardo |
| <p>Muestra C</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,15 g azul - 0,15 g amarillo - 0,05 g rojo - 14,4 g lino o algodón | <p>Muestra H</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,15 g azul - 0,15 g amarillo - 0,05 g rojo - 7,5 g algodón - 7,15 g lino |
| <p>Muestra D</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1,29 g amarillo - 0,14 g azul - 0,29 g rojo - 7,64 g lino - 5,64 g algodón | <p>Muestra I</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 g lino - 5,9 g algodón - 0,1 g amarillo |
| <p>Muestra E</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,1 g azul - 0,2 g pardo - 0,2 g amarillo - 1,5 g algodón - 13 g lino | <p>Muestra J</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6,3 g algodón - 5.3 g lino - 0,1 g pardo - 0,1 g amarillo - 0,1 g azul - 0,1 g rojo |

Tabla 1: Proporciones empleadas para cada muestra

Las diferentes pulpas con colorante ya las teníamos a nuestra disposición como se puede ver en la *Imagen 7*, pero consultando como se realizaron los teñidos a Mónica Santos Navarrete, (Restauradora del taller de Documento Gráfico del IAPH), no explicó cómo hace años el

procedimiento que se siguió fue el siguiente empleando todos los materiales de la casa comercial Arte y Memoria:

- Se aplicó 1 gramos de colorante en 1L de agua destilada.
- Se batió durante 30 minutos.
- Se añadieron 100 gramos de pulpa (50 gramos de lino y 50 gramos de algodón) y 2 L de agua templada a la mezcla.
- Se batió durante otros 30 minutos. (Figura 7)
- Se añadieron 2cc de fijativo (desconocemos cual).
- Se batió por 15 minutos.
- Se filtró y lavó con agua abundante. (Figura 8)
- Se escurrieron cada una de las pulpas teñidas y se dejaron secar extendidas. (Figura 9 y 10)



Fig.7: Batido de la pulpa con el colorante



Fig.8: Pulpa filtrándose y lavándose con abundante agua



Fig.9: Pulpa escurriéndose

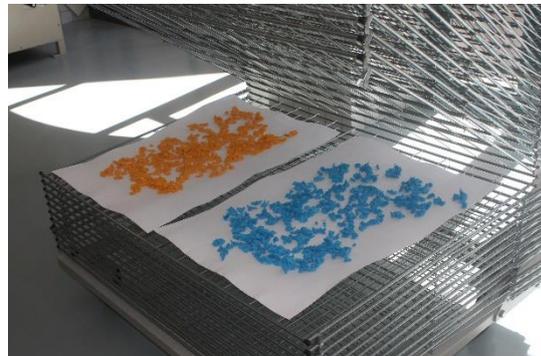


Fig.10: Pulpa extendida para secarse

Para la realización del nuevo muestrario se empezó pesando con una báscula o balanza analítica cada una de las cantidades pulpa necesarias para cada una de los tonos del muestrario, una vez teníamos las diferentes proporciones de pulpa preparadas, se dejaron unos minutos en dos litros de agua para que la pulpa fuera absorbiendo el agua, a continuación, se insertó la solución en la disgregadora y se puso en funcionamiento la maquina durante aproximadamente 20 /30 minutos.

Pasado ese tiempo se sacaron cada uno de los tonos de la disgregadora y en un cubo por tono, se vertió la pulpa disgregada y se añadió agua hasta llegar a tener una proporción de por cada 2 gramos de pulpa, 1 L de agua.

Se preparó en los vasos graduados 2 litros de pulpa por cada tono del muestrario y se empezó con el proceso de creación del mismo. Para ello, se comenzó levantando la rejilla protectora de la máquina y se colocó sobre la bandeja portadocumentos un soporte traspirable, en este caso el Reemay® previamente humedecido (Figura 11), a continuación, se colocó sobre el Reemay® una lámina impermeable a la que se le recortó previamente una ventana con las dimensiones de las muestras que se realizaron (Figura 12). Todo ello contando con luego poder dejar parte de ese muestrario para consulta de los trabajadores del IAPH. Una vez preparado lo anterior, se bajó la rejilla protectora y se pulsó el botón de “Impulsión seno inferior”, se mantuvo este botón pulsado hasta que el agua inundó el seno inferior y comenzó a aflorar a través del Reemay®. En ese momento se pulsó el botón de “impulsión seno superior” hasta que la columna de agua alcanzó el nivel óptimo de trabajo, en ese momento fue cuando incorporamos en la columna de agua la cantidad de pulpa deseada para formar cada una de las muestras (Figuras 13 y 14). Una vez vertida la pulpa, se pulsó el botón de “aspiración seno” momento en el cual se inició el retorno del agua al depósito, fue sólo entonces cuando levantamos la rejilla protectora. Esperamos a que toda el agua atravesase el Reemay® hacia el depósito interior para para la máquina y es entonces cuando ya tendremos nuestras muestras. Para levantar cada una de las hojas de papel formadas, primero levantaremos la lámina impermeable, con la ventana del tamaño de nuestra hoja, iniciando su levantamiento desde una de sus esquinas evitando dañar la muestra. Colocamos sobre cada una de las hojas que formamos para el muestrario otro soporte traspirable previamente humedecido, en este caso un Hollytex®, y levantamos el “sándwich” formado por la hoja y los dos soportes traspirables. Colocamos cada uno de los papeles realizados, con sus respectivos papeles transpirables, entre secantes con peso controlado y fuimos renovando constantemente los secantes para facilitar así su secado.

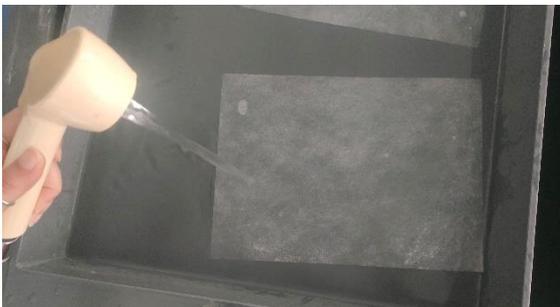


Fig.11: Humectación del Reemay®

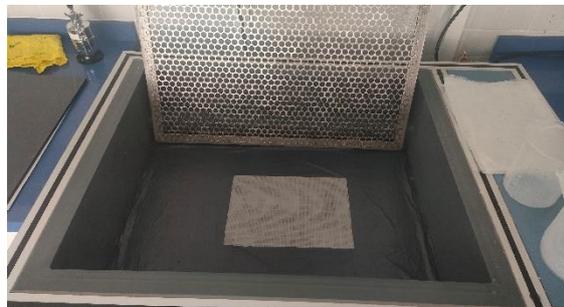


Fig.12: Lámina impermeable ya colocada en la rejilla



Fig.13 y 14: Vertido de la pulpa en la reintegradora mecánica

Una vez seco la mitad, de cada una de las probetas de tonos diferenciados, de destinó a la realización de un muestrario para el uso y consulta de los trabajadores del taller de

Documento Gráfico. Y la otra mitad para la realización de nuestras pruebas y estudios de envejecimiento acelerado.

Para la realización del muestrario a estudiar, se dividieron cada una de las probetas en 5 rectángulos de 2x6cm. Cada uno de ellos para los diferentes ciclos de envejecimiento a los que se sometieron (0 horas, 24 horas, 48 horas, 72 horas y 144 horas). (Figura 15)



Fig.15: Muestrario de papel antes de dividirlo en fragmentos del mismo tamaño para según que ciclo de envejecimiento será sometido.

5.1.1. Materiales y equipamiento

Para la realización del muestrario se emplearon los siguientes materiales y equipamiento proporcionado por el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH).

- Pulpa de algodón (Arte y Memoria): (Figura 16) Uno de los principales componentes del muestrario. Es un material esencial para artistas y restauradores que trabajan con papel y obras de arte sobre papel. La pulpa de algodón se mezcla con agua y adhesivo (el adhesivo dependerá de las condiciones de la obra) para crear una pasta que se puede utilizar para rellenar roturas y agujeros en papel. La pasta se seca y se endurece, creando una superficie fuerte y uniforme que se puede pintar o dibujar. El papel hecho a mano con pulpa de algodón es conocido por su alta calidad, durabilidad y resistencia al amarilleamiento. La pulpa de algodón que vende Arte y Memoria está hecha de fibras de algodón 100% puras y libres de ácidos, de alta pureza y sin reservas alcalinas. Están fabricados con hilos de algodón que no contienen ningún tipo de elemento químico. Esto significa que es de alta calidad y duradera, y que no dañará el papel con el tiempo.¹⁸

¹⁸ Tienda Arte y Memoria. (s. f.). Arte y Memoria. Recuperado 22 de julio de 2024, de <https://tienda.arteymemoria.com/es/>

- Pulpa de lino (Arte y Memoria): (*Figura16*) Conocida por su gran resistencia y durabilidad, es flexible y se adapta fácilmente a diferentes formas y superficies (ideal para trabajar con papeles curvos o irregulares). Tiene un acabado natural y ligeramente rugoso que le da un aspecto similar al papel hecho a mano. Esto la hace ideal para proyectos de restauración que requieren mantener la estética original de la obra de arte. La pulpa de lino de Arte y Memoria está hecha de fibras de lino 100% puras y libres de ácidos. Esto significa que es de alta calidad y duradera, y que no dañará el papel con el tiempo. Se puede utilizar para una gran variedad de tareas en arte y restauración. Es libre de ácidos y no dañará el papel con el tiempo. (Tienda Arte y Memoria, s. f.)
- Mezcla de pulpa de lino y algodón con una proporción 1:1 (volumen: volumen) coloreada con Solophenyl Red 4GE (*Figura 16*), el cual es un colorante rojo azoico de alto rendimiento. Se caracteriza por su excelente resistencia al calor, la luz y la intemperie, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones en las que se requiere una alta durabilidad. Entre sus propiedades físicas destaca su aspecto (polvo fino de color rojo oscuro), su solubilidad (insoluble en agua y en la mayoría de los disolventes orgánicos comunes), densidad aparente (1,1 g/cm³) y el tamaño de su partícula (<2µm). Como ventajas sobresale su excelente resistencia al calor (puede soportar temperaturas de procesamiento de hasta 300°C sin degradarse), su excelente resistencia a la luz (resistente a la decoloración por la luz solar y artificial), su excelente resistencia a la intemperie (resistente a la lluvia, la nieve, el hielo y otros agentes atmosféricos), una buena dispersión (se dispersa fácilmente, lo que da como resultado un color uniforme y consistente) y su alta tinción (necesita una pequeña cantidad para lograr un color intenso). (Tienda Arte y Memoria, s. f.)



Fig.16: Materiales empleados para la realización del muestrario

- Mezcla de lino y algodón con una proporción 1:1 coloreada con Solophenyl Turquoise BRLE 400% (*Figura 16*): es un colorante azul turquesa azoico de alto rendimiento. Se caracteriza por su excelente solidez a la luz, al lavado y al roce, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones en las que se requiere una alta durabilidad. Entre sus propiedades físicas destaca su aspecto (polvo fino de color turquesa), su solubilidad (insoluble en agua y en la mayoría de los disolventes orgánicos comunes), densidad aparente (1,2 g/cm³) y el tamaño de su partícula (<2µm). Como ventajas sobresale su excelente solidez a la luz (resiste a la decoloración por la luz solar y artificial), su excelente solidez al lavado (resistente al lavado con agua

caliente y detergentes), su excelente solidez al roce (resistente al desgaste y la abrasión), una buena dispersión (se dispersa fácilmente, lo que da como resultado un color uniforme y consistente) y su alta tinción (necesita una pequeña cantidad para lograr un color intenso). (Tienda Arte y Memoria, s. f.)

- Mezcla de lino y algodón con una proporción 1:1 coloreada con Solophenyl Yellow ARLE 154%: (Figura 16) es un tinte amarillo brillante y directo. Se caracteriza por su buena solidez a la luz y al lavado, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones en las que se requiere un color duradero. Destaca su aspecto (polvo fino de color amarillo brillante), su solubilidad (soluble en agua), densidad aparente (0,8 g/cm³) y el tamaño de su partícula (<2µm). Ventajas como una buena solidez a la luz (resistente a la decoloración por la luz solar y artificial), una buena solidez al lavado (resistente al lavado con agua caliente y detergentes), una buena dispersión (se dispersa fácilmente lo que da como resultado un color uniforme y consistente), una alta tinción (se necesita una pequeña cantidad para lograr un color intenso) y económico. (Tienda Arte y Memoria, s. f.)
- Balanza analítica: La balanza analítica es la balanza más precisa y se utiliza para medir masas muy pequeñas como miligramos. Este instrumento fue empleado para la medición del peso de cada proporción de pulpa empleada para la realización de cada una de las muestras, tras su realización, utilizada para la medición de cada una de las muestras previas a su envejecimiento y tras este proceso para así poder estudiar los diferentes cambios que puedan sufrir en su masa.



Fig.17: Disgregadora de 5L, modelo R-2002

- Disgregadora de 5L. Modelo R-2002 de Técnicas de Ensayos y Restauración S.L.: Su misión consiste en dispersar la pulpa en agua y mantenerla bien disgregada y mezclada. (Figura 17)

- Vasos graduados: Nos permitirán controlar la cantidad de pulpa disgregada en agua que se va a emplear para cada uno de las muestras a realizar.

- Reintegradora de pulpa modelo R-2000/A de Técnicas de Ensayos y Restauración S.L.: es un equipo utilizado en la restauración de obras documentales, en la etapa de reintegración volumétrica. Su función principal es rellenar las lagunas o faltantes en el soporte de la obra, permite una reintegración precisa y controlada de las lagunas o faltantes. Facilita la aplicación uniforme del material de reintegración y asegura un acabado de alta calidad. (Figura 18)



Fig.18: Reintegradora de pulpa modelo R-2000/A de Técnicas de Ensayos y Restauración S.L.

- Papel reemay®: es un tipo de tela no tejida fabricada con poliéster hilado por enlaces termofusibles. Es un material versátil con una amplia gama de aplicaciones, se utiliza comúnmente en la conservación del arte porque es libre de ácidos, inerte y dimensionalmente estable. Esto significa que no dañará la obra de arte y no cambiará de forma ni tamaño con los cambios de humedad. Para la realización del muestrario se empleó, previamente humedecido en agua, como base, encima de la rejilla de la reintegradora mecánica, para la formación de los diferentes papeles del muestrario.

- Papel hollytex®: Hollytex® es una tela no tejida fabricada con fibras de poliéster 100%. Es un material versátil

con una amplia gama de aplicaciones como la conservación del arte, se utiliza comúnmente porque es libre de ácidos, inerte y dimensionalmente estable. Esto significa que no dañará la obra de arte y no cambiará de forma ni tamaño con los cambios de humedad. El hollytex® se empleará al igual que el reemay®, humedecido en agua, para que una vez se hayan formado los diferentes papeles del muestrario, posicionarla en el anverso de cada muestra para que a la hora de dejar secando bajo peso, evitar posibles adhesiones por parte de los secantes.

5.2. Envejecimiento

Cada una de las probetas del muestrario se sometieron a unas condiciones de envejecimiento que se establecieron en una cámara de envejecimiento acelerado Solabox 300e RH, que responden a las normas ISO 5630-3:1996 referente al estudio del envejecimiento del papel y cartón y a la norma ISO 11341:2004, las cuales son fundamentales en el ámbito de las pruebas de envejecimiento de materiales, especialmente en aquellos que estarán expuestos a condiciones ambientales severas. Por lo tanto, las muestras colocadas en el interior de la cámara se sometieron a unas condiciones constantes de una temperatura de 80°C, 65% de humedad relativa e irradiancia de 550 Wm⁻². (Tello Burgos, 2017).

Como ya se mencionó anteriormente, la cámara de envejecimiento acelerado se trata del modelo Solarbox 3000e RH el cual es un equipo de alta precisión diseñado para simular las condiciones de envejecimiento que experimentan los materiales cuando se exponen a la luz solar, a la temperatura y a la humedad.

Este equipo permite simular condiciones controladas de estos agentes de deterioro de manera que podemos someter a los materiales a condiciones extremas de dichas variables con el objetivo de acelerar los procesos de degradación sufridos en los papeles ensayados simulando así distintas condiciones climáticas.

Esta cámara de envejecimiento está equipada con una lámpara de xenón, la cual emite una luz similar a la solar cubriendo el espectro de 300 a 800 nm, esta radiación simula los efectos dañinos de los rayos UV y la luz visible. Además, cuenta con un filtro indoor S208/S408, este filtro se utiliza para ajustar el espectro de la luz emitida por la lámpara de xenón y simular diferentes condiciones de exposición, como la luz solar directa o difusa.

Cada una de las muestras de papel se sometieron a estas condiciones ambientales de envejecimiento en intervalos de tiempo de exposición de 0, 24, 48, 72 y 144 horas.

5.3. Estudios realizados

5.3.1. Exámenes realizados

A la hora de estudiar cómo reacciona un muestrario de pulpa de papel al envejecimiento, existen una serie de pruebas que se pueden realizar dependiendo de los recursos con los que se cuente. Estas pruebas se pueden dividir entre destructivas y no destructivas.

Dentro de las destructivas nos encontramos con pruebas como:

- La resistencia al doblar: Evalúa la flexibilidad del papel y su capacidad de resistir pliegues repetidos. Se realiza doblando una tira de papel varias veces en el mismo lugar y observando el número de dobleces que resiste antes de romperse.
- La resistencia al rasgado: Es la resistencia del papel al desgarrar. Se realiza cortando una tira de papel de un tamaño concreto y aplicando una fuerza constante creciente hasta que se produce el desgarrar. La fuerza necesaria para rasgar el papel se utiliza como indicador de su resistencia. Un papel con baja resistencia al desgarrar es más frágil y se deteriora con mayor facilidad.
- La resistencia a la adhesión: Mide la fuerza con la que las fibras de papel están unidas entre sí. Se realiza aplicando una cinta adhesiva sobre el papel y luego tirando de ella rápidamente para ver si se desprenden fibras.
- Análisis de fibras: Permite identificar el tipo de fibras que componen el papel (algodón, lino, cáñamo, etc.) y su grado de degradación. Se realiza mediante microscopía.

En cuanto a las pruebas no destructivas podemos realizar las siguientes:

- Prueba de acidez: Esta prueba mide el pH del papel. La determinación del pH es un parámetro muy importante dentro del estudio de los materiales ya que es posible conocer si se ha dado algún tipo de alteración, debido a que el deterioro químico de los soportes produce unos compuestos de degradación de naturaleza ácida, por lo que a partir del aumento o descenso de la medida del pH se podrían establecer los motivos de alteración y el grado de deterioro químico. (Tello Burgos, 2017). Se utiliza un pH-metro para medir la concentración molar de iones hidrógeno (H⁺) en el soporte y determinar así la acidez o alcalinidad, del mismo. El pH, propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de una solución, y se expresa en

una escala de 0 a 14. Un pH de 7 se considera neutral, mientras que un pH inferior a 7 es ácido y un pH superior a 7, alcalino. Un pH bajo (ácido) en un soporte papelerero indica que en el material se están produciendo una serie de reacciones propias del envejecimiento del mismo

- Prueba de color: Mediante esta prueba se pretende medir los cambios producidos en el color en las distintas probetas de forma cuantitativa y comparativa, ya que mide el cambio de color producido por un cierto tiempo con respecto a un blanco o referencia, en este caso, respecto a la probeta que no ha sido sometida al proceso de envejecimiento. El colorímetro es empleado para el estudio de esta propiedad física.
- Análisis al microscopio:
 - El microscopio óptico: Permite observar la superficie del papel a gran aumento, obteniendo información de hasta unos 500X. Las fibras se observan mediante microscopía óptica de luz transmitida y polarizada pudiendo así identificar signos de deterioro como fibras rotas, pérdida de adhesión entre fibras, presencia de manchas o decoloraciones, y la morfología de las fibras (algodón y lino).
 - El microscopio electrónico: Mediante microscopía electrónica de barrido podemos obtener aumentos superiores de hasta 1000X, obteniendo información a nivel microestructural de las fibras, así como la presencia de microorganismos.
- Espectroscopia infrarroja: permite identificar los componentes químicos del papel sin dañarlo. Es especialmente útil para detectar la presencia de sustancias ácidas o alcalinas que pueden acelerar el deterioro. Se fundamenta en la absorción de la radiación IR por las moléculas en vibración. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula. De esta forma, analizando cuales son las longitudes de onda que absorbe una sustancia en la zona del infrarrojo, podemos obtener información acerca de las moléculas que componen dicha sustancia.¹⁹
- La prueba de absorción de gota es un método simple y rápido para evaluar la capacidad de absorción de agua del papel. Esta prueba se basa en el principio de que el agua se difundirá y penetrará en el papel a una velocidad que depende de la porosidad y la estructura del papel. El tiempo que tarda una gota de agua en ser

¹⁹ Técnicas a utilizar: Espectroscopia Infrarroja (IR). (2006, 25 septiembre). Caracterización de materiales cristalinos Práctica Guiada. Recuperado 29 de julio de 2024, de <https://www.ehu.es/imacris/PIE06/web/IR.htm>

completamente absorbida por el papel se utiliza como una medida de su capacidad de absorción.

- La prueba de cambio dimensional es una técnica que se basa en la medición de los cambios en las dimensiones del papel a lo largo del tiempo. Los cambios en las dimensiones del papel se registran y se analizan para identificar tendencias que puedan indicar el envejecimiento del papel.
- La prueba de cambio de peso y espesor: Se basa en la medición de los cambios en el peso y el espesor del papel a lo largo del tiempo. Los cambios en la humedad relativa y la temperatura pueden afectar el peso y el espesor del papel.

Dentro de todas estas pruebas que se pueden realizar, se hizo una selección en función del equipamiento con el que contaba en el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, del tiempo del que se disponía para hacer cada una de las pruebas y de lo representativas que podían llegar a ser para la investigación.

Cada una de las pruebas que se nombran a continuación se hicieron en cada una de las muestras antes y después de su envejecimiento para así poder determinar el nivel de degradación al paso del tiempo que había sufrido cada uno de los tonos del muestrario.

Resistencia al doblado:

Para realizar esta prueba nos basamos en todo momento en diferentes normas ISO para establecer un método. (ISO 5628:2008 - Determinación de la resistencia al doblado del papel la cual especifica un método para determinar la resistencia al doblado del papel. Es decir, determina el número de dobleces que puede soportar una tira de papel en un punto dado antes de que se produzca una rotura. Y la norma ISO 2485:2001 - Papel y cartón - Determinación del número de dobleces la cual es similar a la anterior, pero con algunas diferencias en el procedimiento y el equipo utilizado. Ambas normas tienen como objetivo evaluar la resistencia al doblado del papel, pero la ISO 2485 puede ser más específica para ciertos tipos de papel o cartón.), ambas se utilizan para evaluar la capacidad de los diferentes papeles del muestrario a soportar repetidas flexiones del papel o dobleces antes de romperse.

Según estas normas se debe cortar una tira de papel de dimensiones especificadas (2x6cm), la tira se dobla repetidamente hasta que se produce una rotura y el número de dobleces que resiste la tira antes de romperse se registra como el resultado de la prueba. Con ello se puede evaluar: la resistencia y su capacidad para soportar flexiones repetidas a lo largo del tiempo, un mayor número de dobleces indica una mayor resistencia. Aunque, se debe de tener en cuenta:

- El tipo de fibras empleadas: las fibras de algodón o lino son fibras largas y fuertes (confieren al muestrario de una mayor resistencia al doblado).
- El grado de batido en la disgregadora: Un batido excesivo puede dañar las fibras y reducir la resistencia.
- La humedad: La humedad del papel puede afectar su resistencia al doblado.
- La temperatura: también puede influir en la resistencia del papel.

Prueba de color:

Medir la variación de color producida en las probetas resulta de vital interés para poder evaluar el grado de influencia de los distintos agentes ambientales a los que se sometieron. Mediante el empleo de equipos especializados, tanto colorímetros como espectrofotómetros, se puede obtener la cuantificación de los diversos atributos del color de manera fácil y rápida.

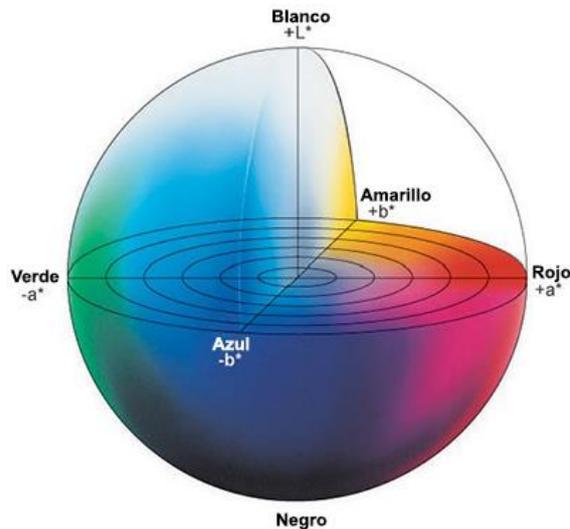


Fig.18: Espacio de color CIE $L^*a^*b^*$

Es decir, debido a la necesidad de expresar el color de un objeto empleando algún tipo de anotación, como pueden ser los números, se crearon lo que se denomina espacios de color.

El espacio CIE $L^*a^*b^*$, creado en 1976, proporciona una medición del color uniforme y tridimensional que permite la representación del color mediante las coordenadas rectangulares $L^*a^*b^*$ (Figura 18). Es un método ampliamente utilizado a causa de su capacidad de correlacionar los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana.

El color se corresponde con una interpretación y percepción muy subjetiva ya que dos personas a personas, a pesar de observar un objeto determinado, pueden emplear diferentes puntos de referencia y expresar el mismo color con una gran variedad de terminología distinta. Para impedir que eso suceda, además de asegurar que una muestra cumple con el estándar, el color debe ser expresado en el término matemático apropiado de una forma objetiva y concisa. Es por eso, que el método CIELAB resulta de gran utilidad debido a que su modelado se basa en la teoría de color oponente, la cual establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul a la vez.²⁰

Por tanto, los parámetros que se medirán serán la luminosidad (L^*), las coordenadas cromáticas para el rojo/verde (a^*) y las coordenadas para el amarillo/azul (b^*), tal y como se puede apreciar en la Figura 18. Es importante aclarar que en caso de que el primer tipo de coordenada tenga valor positivo eso indicará es que rojo, mientras que si es $-a^*$ el valor cromático será verde. Lo mismo ocurre con el parámetro b^* , el cual será amarillo cuando sea $+b^*$ y azul cuando sea negativo.

Tanto los colorímetros como los espectrofotómetros son instrumentos que permiten cuantificar estos parámetros, determinando el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada L^* , a^* y b^* .

²⁰ GF, R. (2019). *Efecto de los factores ambientales en los materiales constitutivos de manuscritos históricos réplicas de papel y tintas* [TFM].

La diferencia de color se define como la comparación numérica de una muestra con el estándar u original. El término ΔE^* se le conoce con el nombre de diferencia total de color. La diferencia de color total va a depender, a su vez, de las diferencias existentes entre los valores iniciales y finales de L^* , a^* y b^* . Cada una de estas diferencias puede resultar positiva o negativa, sin embargo, ΔE^* siempre será positiva. Es decir:

- ΔL^* : diferencia en luz y oscuridad. En caso de ser positivo indicará que es más luminoso mientras que si resulta negativo será una característica más oscura.
- Δa^* : diferencia en rojo y verde. Tal y como se mencionó anteriormente, si la diferencia es positiva será más rojo y si es negativa será más verde en el espacio de color.
- Δb^* : diferencia en amarillo y azul. Podrá ser positiva (más amarillo) o negativa (más azul).

Para determinar la diferencia total de color entre las tres coordenadas, se debe usar la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = [(L^*1-L^*2)^2 + (a^*1-a^*2)^2 + (b^*1-b^*2)^2]^{1/2}$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

La tolerancia de color es el límite de cuán grande la diferencia de color entre la muestra y el original para que la muestra sea considerada aceptable. Estas tolerancias son establecidas utilizando cada componente ΔL^* , Δa^* y Δb^* , permitiendo así identificar qué coordenada ha excedido el límite.²¹

Es importante incidir en la existencia de la norma ISO 12547-2: Un Pilar Fundamental en la Impresión Offset, la cual se encarga de indicar los estándares de impresión, entre otras muchas definiciones, y permite abordar los umbrales de tolerancia para ΔE^* , recogidos en la *Tabla 2*:

| ΔE^* | 1 | 1-2 | 2-4 | 4-5 | >5 |
|--------------|-----------|-------|--------|------------|------|
| Calidad | Excelente | Buena | Normal | Suficiente | Mala |

*Tabla 2: Valores de tolerancia para ΔE^**

Si la diferencia total de color es inferior a 3, se estaría hablando del JND o «just noticeable difference». Esto puede traducirse como la diferencia apenas perceptible producida entre dos

²¹ Entendiendo el Espacio de Color CIE $L^*a^*b^*$. (s. f.). Konica Minolta. Recuperado 8 de agosto de 2024, de <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

niveles de intensidad de un estímulo sensorial o, lo que es lo mismo, una diferencia de color muy difícilmente apreciable.²²

A causa de todo lo comentado, se realizaron medidas de color en las probetas de papel antes y después de los diferentes ciclos de envejecimiento por calor, humedad y luz. Se utilizó como referencia la norma ISO 7724/1:1994 - Óptica e instrumentos ópticos - Colorímetros - Parte 1: Definiciones y principios generales, que establece las bases fundamentales para la comprensión y utilización de los colorímetros. Esta norma se centra en definir los términos clave y los principios generales que rigen el funcionamiento de instrumentos como el colorímetro, utilizado para medir el color de nuestras muestras.



Fig.19: Toma de muestras con el colorímetro

Para la realización de esta prueba se utilizó el colorímetro Minolta CR-200 y se tomaron tres mediciones en diferentes puntos de cada una de las muestras previas al envejecimiento como se puede ver en la *Figura 19* (0 horas) y de las posteriores al mismo, tras cada uno de los diferentes ciclos a los que fueron sometidas (24h, 48h, 72, y 144h). Estos datos obtenidos por el colorímetro fueron tratados en un Excel para así poder aplicar cálculos promedios de las tres mediciones de cada muestra y poder conseguir, mediante

diferentes operaciones, diferentes datos y valores, determinar la diferencia total de color entre las tres coordenadas cómo ya se ha explicado y visto la formula anteriormente.

Prueba de acidez:

Para la realización de esta prueba se midió el pH de cada una de las muestras antes y después de todos los intervalos de envejecimiento a los que fueron sometidas dichas muestras (0h, 24h, 48h, 72, y 144h). Esta prueba se realizó mediante el empleo de tiras medidoras de pH PanReac AppliChem de un solo uso. Se inició la prueba humedeciendo los indicadores de las tiras de pH con agua desionizada, se colocaron en contacto directo con cada una de las muestras y se situaron encima unos pequeños pesos muy controlados para asegurarnos así de que toda la superficie de los indicadores estuviera en contacto con las muestras, interponiendo siempre un Mylar® para así tratar de retrasar la evaporación del agua desionizada durante los 15/20 minutos que se dejaron las tiras reaccionando (*Figura 20*). Pasado ese tiempo, se compararon los tonos obtenidos en cada uno de los reactores de las

²² GF, R. (2019). *Efecto de los factores ambientales en los materiales constitutivos de manuscritos históricos réplicas de papel y tintas* [TFM].

tiras respecto a la escala de colores de referencia incluida en la propia caja de las tiras, para así ver cuál es el tono al que más se aproximó y por tanto su pH final. (Figura 21)

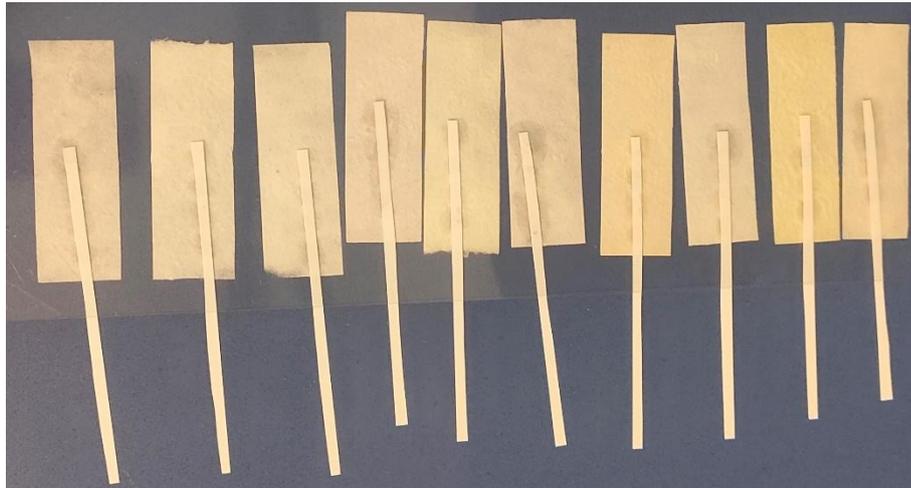


Fig.20: Tiras de pH reaccionando

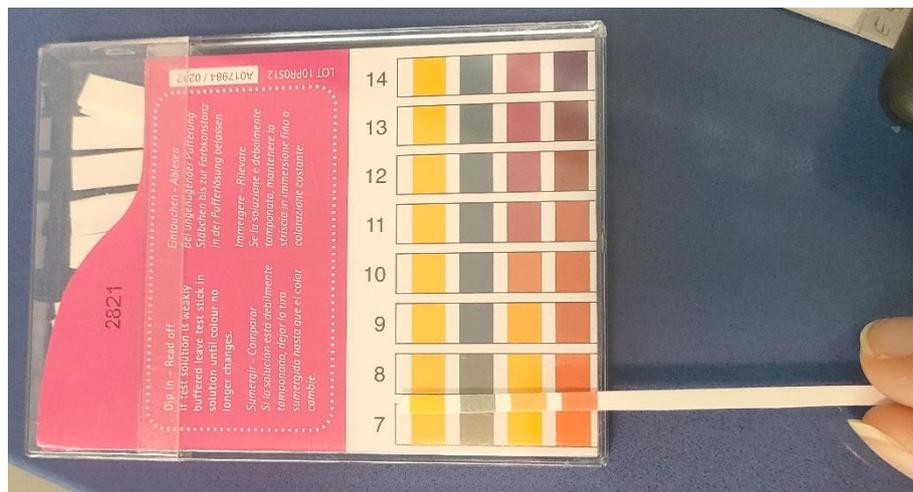


Fig.21: Tira con su pH final

Prueba de cambio dimensional, de espesor y peso

Es una técnica utilizada para evaluar el envejecimiento del papel y determinar su estado de conservación. Se basa en la medición de los cambios en las dimensiones del papel (largo, ancho y espesor) a lo largo del tiempo. Para el largo y ancho nos ayudamos de una regla milimétrica, para el espesor de un espesímetro milimétrico y para el peso, de una balanza milimétrica.

5.3.2. Materiales y equipamiento utilizado

Para la realización de todas y cada una de las pruebas que se realizaron sobre el muestrario sin envejecer y envejecido, en cada uno de los diferentes ciclos a los que se sometieron las probetas, se necesitó una serie de materiales y equipamiento que hizo posible estos exámenes.



Fig.22: Tiras medidoras de pH PanReac AppliChem

Tiras medidoras de pH PanReac AppliChem: Las tiras medidoras de pH PanReac AppliChem son herramientas simples y económicas para medir el nivel de pH. Están hechas de un papel especial impregnado con un indicador de pH, que cambia de color según la acidez o alcalinidad de la superficie con la que entre en contacto. Ofrecen una alternativa no destructiva para medir el pH del papel sin necesidad de extraer una muestra. Este método rápido y sencillo es ideal para aplicaciones en las que la preservación de la integridad del material es crucial, como en libros, documentos históricos u obras de arte.²³ (Figura 22)

- El Mylar®, también conocido como Melinex®, es una marca comercial de un tipo de película de poliéster biaxialmente orientado. Este material es conocido por su excepcional resistencia a desgarros, perforaciones y abrasiones; transparencia;



Fig.23: Espesímetro

flexibilidad (Puede ser doblado y conformado sin perder sus propiedades); barrera a la humedad, gases y aromas; resistencia química (es resistente a muchos productos químicos, ácidos y álcalis); estabilidad dimensional (mantiene sus dimensiones a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones ambientales) y aislante eléctrico (ofrece buenas propiedades de aislamiento eléctrico). Gracias a estas propiedades, el Mylar® ha encontrado una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores. En este caso se empleó el Mylar® para retrasar la evaporación del agua desionizada que se encontraba impregnado en las tiras medidoras de pH.

- Espesímetro: aparato que sirve para medir grosores antes y después del envejecimiento de cada muestra. (Figura 23)

- Regla milimétrica: para poder estudiar así posibles cambios dimensionales que hayan sufrido cada una de las muestras tras el envejecimiento acelerado al que han sido sometidas.

- Colorímetro Minolta CR-200: Es un colorímetro portátil de alta precisión diseñado para medir el color de superficies sólidas. Este instrumento ha sido ampliamente

²³ Ficha de datos de seguridad: según 1907/2006/CE, Artículo 31. (2023). [Conjunto de datos]. En PanReac AppliChem.

utilizado en diversas industrias, como la impresión, el plástico, la pintura y el textil, gracias a su capacidad para proporcionar datos de color precisos y confiables. Se caracteriza entre otras cosas por su portabilidad (posee un diseño compacto y ligero), su precisión (emplea tecnología avanzada para ofrecer mediciones de color altamente precisas y repetibles), su fácil manejo (su interfaz intuitiva facilita su operación, incluso para usuarios sin experiencia previa), su amplia gama de aplicaciones (puede utilizarse para medir una variedad de materiales y superficies) y su durabilidad (construido con materiales de alta calidad para garantizar una larga vida útil).²⁴ (Figura 24)



Fig.24: Colorímetro Minolta CR-200

- Balanza analítica: La balanza analítica es la balanza más precisa y se utiliza para medir masas muy pequeñas como miligramos. Este instrumento fue empleado para la evaluación de cada muestra antes y después de su envejecimiento.

5.4. Análisis de datos y desarrollo de la investigación

5.4.1. Prueba de acidez

Empezaremos analizando los datos obtenidos por las tiras medidoras de pH PanReac AppliChem en cada una de las muestras que no fueron envejecidas. Tras tener estos datos, se repetirá el proceso con los datos obtenidos de estas tiras medidoras de pH en las muestras que se sometieron a los diferentes ciclos de 24 horas, 48 horas, 72 horas y 144 horas en la cámara de envejecimiento.

²⁴ Medidor de color CR-200. (s.f.). Konica Minolta.

Los valores obtenidos por las tiras medidoras de pH en cada una de las muestras antes de los diferentes ciclos de envejecimiento fueron valores muy estables de pH 7.

Tras someter a envejecimiento a cada una de las muestras en cada uno de los diferentes ciclos (24h, 48h, 72h, y 144h) los valores obtenidos por las tiras medidoras de pH siguieron dando unos valores estables de pH 7.

5.4.2. Dimensiones, espesor y peso

En cuanto a las dimensiones de cada una de las muestras antes del envejecimiento, partimos de un muestrario en el que cada uno de los tonos contaba con un pequeño rectángulo de unas proporciones de 2x6cm.

Tras someter a cada uno de los tonos del muestrario a los diferentes ciclos de envejecimiento, las dimensiones que obtuvimos, tras medir cada uno de los tonos, fueron exactamente las mismas. (Tabla 3)

Respecto al peso pasó lo mismo, en cada una de los diferentes tonos de las muestras, se registró el peso en gramos del antes y después de su envejecimiento.

Los valores obtenidos antes del envejecimiento rondan valores de entre 0,06 y 0,12g.

Los valores obtenidos tras los diferentes ciclos de envejecimiento rondan, en el ciclo de 24 horas valores de entre 0,06 y 0,10g, en el ciclo de 48 horas valores de entre 0,06 y 0,12g, en el ciclo de 72 horas valores de entre 0,06 y 0,12g y, por último, en el ciclo de 144 horas, valores de entre 0,06 y 0,9g. (Tabla 3)

En cada uno de los tonos del muestrario, los valores obtenidos antes del envejecimiento fueron prácticamente los mismos que tras cada uno de los ciclos de envejecimiento, habiendo alguna que otra diferencia nunca superior a los 0,01g.

Por último, los valores obtenidos por el espesímetro en cada uno de los tonos del muestrario antes de su envejecimiento, rondó valores entre 0,2mm y 0,4 mm. Tras el envejecimiento de las diferentes muestras en los diferentes ciclos, los valores obtenidos fueron prácticamente los mismos, habiendo una diferencia nunca mayor de 0,1 mm (Tabla 3)

Con esta información, podemos decir que, aun sometiendo a muestrario a unas condiciones extremas de temperatura, humedad relativa y luz, en diferentes ciclos, la composición de cada una de las muestras, es relativamente estable a estos agentes atmosféricos y por tanto soportan bastante bien el envejecimiento.

| Muestra | Tiempo | Dimensiones | Espesor (mm) | Peso (g) |
|---------|--------|-------------|--------------|----------|
| A | 0 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 24 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 48 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 72 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 144 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |

| | | | | |
|---|-----|-------|-----|------|
| B | 0 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 24 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 48 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 72 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 144 | 2x6cm | 0,3 | 0,08 |
| C | 0 | 2x6cm | 0,3 | 0,09 |
| | 24 | 2x6cm | 0,3 | 0,09 |
| | 48 | 2x6cm | 0,3 | 0,09 |
| | 72 | 2x6cm | 0,2 | 0,08 |
| | 144 | 2x6cm | 0,2 | 0,07 |
| D | 0 | 2x6cm | 0,4 | 0,12 |
| | 24 | 2x6cm | 0,3 | 0,10 |
| | 48 | 2x6cm | 0,4 | 0,12 |
| | 72 | 2x6cm | 0,4 | 0,12 |
| | 140 | 2x6cm | 0,3 | 0,09 |
| E | 0 | 2x6cm | 0,2 | 0,06 |
| | 24 | 2x6cm | 0,2 | 0,06 |
| | 48 | 2x6cm | 0,2 | 0,06 |
| | 72 | 2x6cm | 0,2 | 0,06 |
| | 144 | 2x6cm | 0,2 | 0,06 |
| F | 0 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 24 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 48 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 72 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 144 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| G | 0 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 24 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 48 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 72 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| | 144 | 2x6cm | 0,3 | 0,06 |
| H | 0 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 24 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 48 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 72 | 2x6cm | 0,3 | 0,08 |
| | 144 | 2x6cm | 0,3 | 0,08 |
| I | 0 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 24 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 48 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 72 | 2x6cm | 0,4 | 0,09 |
| | 144 | 2x6cm | 0,3 | 0,08 |
| J | 0 | 2x6cm | 0,3 | 0,09 |
| | 24 | 2x6cm | 0,3 | 0,09 |
| | 48 | 2x6cm | 0,2 | 0,08 |

| | | | | |
|--|-----|-------|-----|------|
| | 72 | 2x6cm | 0,2 | 0,08 |
| | 144 | 2x6cm | 0,2 | 0,08 |

Tabla 3: Datos obtenidos tras las diferentes mediciones de dimensiones, espesor y peso

5.4.4. Prueba de color

A continuación, en la *Tabla 4*, se muestran los datos obtenidos de los cambios de color sufridos en las distintas probetas estudiadas, se trata de un estudio comparativo entre una probeta de referencia sin envejecer y las muestras envejecidas durante los distintos ciclos de tiempo.

| Promedios | Tiempo | L* | a* | b* | ΔL | Δa | Δb | ΔL^2 | Δa^2 | Δb^2 | macuadrac | ΔE |
|-----------|--------|---------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------------|
| Muestra A | 0H | 97,16 | -0,11 | 1,44 | | | | | | | | |
| | 24H | 97,16 | 0,09 | 1,56 | 0,00 | 0,20 | 0,12 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,05 | 0,23 |
| | 48H | 97,26 | 0,19 | 1,69 | 0,10 | 0,30 | 0,25 | 0,01 | 0,09 | 0,06 | 0,16 | 0,40 |
| | 72H | 97,31 | 0,23 | 1,02 | 0,15 | 0,34 | -0,42 | 0,02 | 0,11 | 0,17 | 0,31 | 0,56 |
| | 144H | 97,82 | 0,35 | 0,22 | 0,66 | 0,46 | -1,22 | 0,43 | 0,21 | 1,49 | 2,13 | 1,46 |
| Muestra B | 0H | 97,76 | -4,02 | 12,88 | | | | | | | | |
| | 24H | 97,68 | -3,08 | 9,50 | -0,08 | 0,94 | -3,38 | 0,01 | 0,88 | 11,42 | 12,31 | 3,51 |
| | 48H | 98,06 | -2,67 | 6,94 | 0,30 | 1,35 | -5,94 | 0,09 | 1,82 | 35,28 | 37,20 | 6,10 |
| | 72H | 98,12 | -2,22 | 6,00 | 0,36 | 1,80 | -6,88 | 0,13 | 3,24 | 47,33 | 50,70 | 7,12 |
| | 144H | 98,43 | -2,21 | 5,42 | 0,67 | 1,81 | -7,46 | 0,45 | 3,28 | 55,65 | 59,38 | 7,71 |
| Muestra C | 0H | 97,93 | 0,41 | -5,28 | | | | | | | | |
| | 24H | 97,87 | 0,66 | -4,95 | -0,06 | 0,25 | 0,33 | 0,00 | 0,06 | 0,11 | 0,18 | 0,42 |
| | 48H | 97,83 | 0,71 | -4,62 | -0,10 | 0,30 | 0,66 | 0,01 | 0,09 | 0,44 | 0,54 | 0,73 |
| | 72H | 97,76 | 0,73 | -4,11 | -0,67 | 0,32 | 1,17 | 0,45 | 0,10 | 1,37 | 1,92 | 1,39 |
| | 144H | 97,38 | 0,82 | -3,21 | -0,55 | 0,41 | 2,07 | 0,30 | 0,17 | 4,28 | 4,76 | 2,18 |
| Muestra D | 0H | 96,80 | 2,50 | 5,38 | | | | | | | | |
| | 24H | 97,17 | 1,89 | 4,14 | 0,37 | -0,61 | -1,24 | 0,14 | 0,37 | 1,54 | 2,05 | 1,43 |
| | 48H | 97,74 | 1,49 | 2,86 | 0,94 | -1,01 | -2,52 | 0,88 | 1,02 | 6,35 | 8,25 | 2,87 |
| | 72H | 98,00 | 1,41 | 2,50 | 1,20 | -1,09 | -2,88 | 1,44 | 1,19 | 8,29 | 10,92 | 3,30 |
| | 144H | 98,35 | 1,22 | 0,59 | 1,55 | -1,28 | -4,79 | 2,40 | 1,64 | 22,94 | 26,99 | 5,19 |
| Muestra E | 0H | 98,40 | 2,56 | -2,59 | | | | | | | | |
| | 24H | 97,51 | 2,07 | -3,57 | -0,89 | -0,49 | -0,98 | 0,79 | 0,24 | 0,96 | 1,99 | 1,41 |
| | 48H | 97,79 | 2,16 | -4,53 | -0,61 | -0,40 | -1,94 | 0,37 | 0,16 | 3,76 | 4,30 | 2,07 |
| | 72H | 97,99 | 2,02 | -4,62 | -0,41 | -0,54 | -2,03 | 0,17 | 0,29 | 4,12 | 4,58 | 2,14 |
| | 144H | 98,46 | 2,06 | -4,88 | 0,06 | -0,50 | -2,29 | 0,00 | 0,25 | 5,24 | 5,50 | 2,34 |
| Muestra F | 0H | 99,56 | -0,24 | -0,68 | | | | | | | | |
| | 24H | 98,46 | 0,08 | 0,46 | -1,10 | 0,32 | 1,14 | 1,21 | 0,10 | 1,30 | 2,61 | 1,62 |
| | 48H | 98,05 | 0,22 | 1,53 | -1,51 | 0,46 | 2,21 | 2,28 | 0,21 | 4,88 | 7,38 | 2,72 |
| | 72H | 97,60 | 0,24 | 1,60 | -1,96 | 0,48 | 2,28 | 3,84 | 0,23 | 5,20 | 9,27 | 3,04 |
| | 144H | 96,66 | 0,39 | 1,82 | -2,90 | 0,63 | 2,50 | 8,41 | 0,40 | 6,25 | 15,06 | 3,88 |
| Muestra G | 0H | 97,33 | 5,93 | -7,03 | | | | | | | | |
| | 24H | 97,58 | 4,89 | -7,61 | 0,25 | -1,04 | -0,58 | 0,06 | 1,08 | 0,34 | 1,48 | 1,22 |
| | 48H | 97,81 | 4,53 | -8,64 | 0,48 | -1,40 | -1,61 | 0,23 | 1,96 | 2,59 | 4,78 | 2,19 |
| | 72H | 98,05 | 4,34 | -8,79 | 0,72 | -1,59 | -1,76 | 0,52 | 2,53 | 3,10 | 6,14 | 2,48 |
| | 144H | 98,25 | 3,95 | -9,08 | 0,92 | -1,98 | -2,05 | 0,85 | 3,92 | 4,20 | 8,97 | 2,99 |
| Muestra H | 0H | 99,41 | -0,30 | -3,91 | | | | | | | | |
| | 24H | 98,99 | 0,25 | -3,77 | -0,42 | 0,55 | 0,14 | 0,18 | 0,30 | 0,02 | 0,50 | 0,71 |
| | 48H | 99,11 | 0,44 | -4,65 | -0,30 | 0,74 | -0,74 | 0,09 | 0,55 | 0,55 | 1,19 | 1,09 |
| | 72H | 99,27 | 0,62 | -4,75 | -0,14 | 0,92 | -0,84 | 0,02 | 0,85 | 0,71 | 1,57 | 1,25 |
| | 144H | 99,58 | 0,70 | -5,16 | 0,17 | 1,00 | -1,25 | 0,03 | 0,99 | 1,55 | 2,58 | 1,61 |
| Muestra I | 0H | 101,82 | 1,23 | -5,82 | | | | | | | | |
| | 24H | 100,52 | 1,45 | -5,79 | -1,30 | 0,22 | 0,03 | 1,69 | 0,05 | 0,00 | 1,74 | 1,32 |
| | 48H | 100,48 | 1,61 | -5,55 | -1,34 | 0,38 | 0,27 | 1,79 | 0,14 | 0,07 | 2,00 | 1,42 |
| | 72H | 100,47 | 1,71 | -4,96 | -1,35 | 0,48 | 0,86 | 1,81 | 0,23 | 0,74 | 2,79 | 1,67 |
| | 144H | 100,31 | 1,77 | -5,08 | -1,51 | 0,54 | 0,74 | 2,27 | 0,29 | 0,54 | 3,10 | 1,76 |
| Muestra J | 0H | 96,66 | 4,56 | -7,45 | | | | | | | | |
| | 24H | 96,76 | 2,97 | -7,84 | 0,10 | -1,59 | -0,39 | 0,01 | 2,54 | 0,15 | 2,70 | 1,64 |
| | 48H | 97,40 | 2,62 | -7,84 | 0,74 | -1,94 | -0,39 | 0,55 | 3,76 | 0,15 | 4,47 | 2,11 |
| | 72H | 97,53 | 2,59 | -7,97 | 0,87 | -1,97 | -0,52 | 0,76 | 3,88 | 0,27 | 4,91 | 2,22 |
| | 144H | 97,86 | 2,56 | -8,12 | 1,20 | -2,00 | -0,67 | 1,43 | 4,00 | 0,44 | 5,88 | 2,42 |

Tabla 4: Excel con todos los datos promedios del colorímetro

Con los datos obtenidos en el Excel de la *Tabla 3*, de cada uno de los cambios de color sufridos en las distintas probetas estudiadas, fue más fácil la realización de una serie de graficas de las cuales se partió para analizar los valores obtenidos en Delta E (ΔE^*) usando como indicativo los umbrales de tolerancia para ΔE^* recogidos en la *Tabla 2*.

Muestra A:

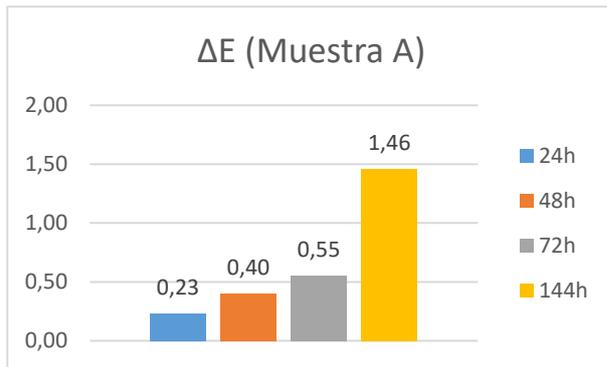


Fig.25: Delta E de la muestra A

En la muestra A, podemos ver en la *Figura 25* la diferencia total de color, Delta E, evidencia una evolución ascendente a medida que las probetas tienen un ciclo de envejecimiento de mayor tiempo. No llegan a sobrepasar valores superiores al 2 por lo que la podemos determinar que, siguiendo los valores de tolerancia de la *Tabla 2*, las probetas envejecidas por 24, 48 y 72 horas, al no llegar a superar siquiera una ΔE^* de 1 y la muestra envejecida en un ciclo de 144 horas, quedarse en el 1,46, la calidad de esta muestra sería buena.

Muestra B:

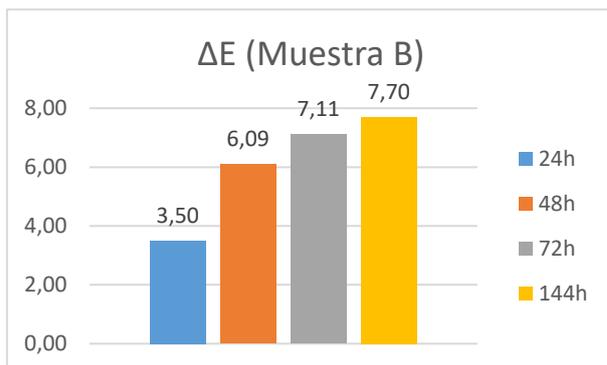


Fig.26: Delta E de la muestra B

En la muestra B, como se puede apreciar en el *Figura 26*, existe otra evolución ascendente de la Delta E a medida que se van envejeciendo cada vez más. En esta muestra, siguiendo la *Tabla 2*, podemos establecer que a las 24 horas de ser envejecida la probeta muestra una calidad normal, pero a partir de las 48 horas, la ΔE^* es tan elevada que la calidad empeora llegándose a considerar mala.

Muestra C:

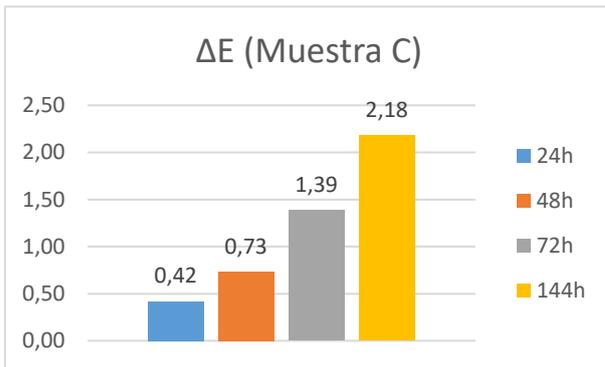


Fig.27: Delta E de la muestra C

En esta muestra C, tal como hemos visto en las anteriores muestras y vemos en la *Figura 27*, hay una progresión ascendente. La probeta envejecida por 24 horas presenta una ΔE^* menor que la que estuvo por 48 horas y así respectivamente hasta llegar a la que permaneció un ciclo de 144 horas, que es la que mayor Delta E (ΔE^*) presenta. Teniendo en cuenta estos valores, y los niveles de tolerancia para ΔE^* expuestos en la *Tabla 2*, tendría una calidad buena, con unos valores no superiores a 2,18 de ΔE^*

Muestra D:

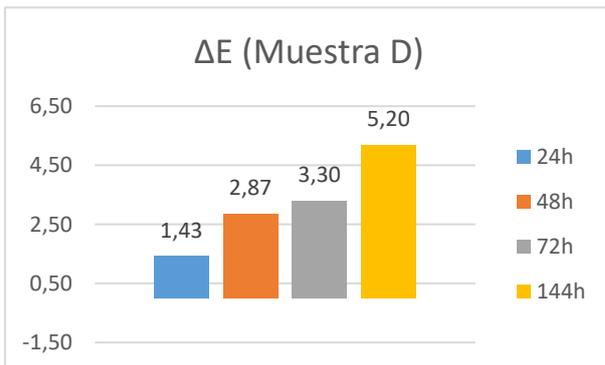


Fig.28: Delta E de la muestra D

En la muestra D, la probeta envejecida en un ciclo de 24 horas es la que presenta la menor magnitud de diferencia total de color, la siguiente sería la muestra envejecida en un ciclo de 48 horas, la siguiente la envejecida 72 horas y por último la muestra con una mayor diferencia Delta E fue la muestra envejecida 144 horas. Partiendo de estos valores plasmados en la *Figura 28* y de los valores de tolerancia para ΔE^* podemos definir esta muestra como de una calidad mala.

Muestra E:

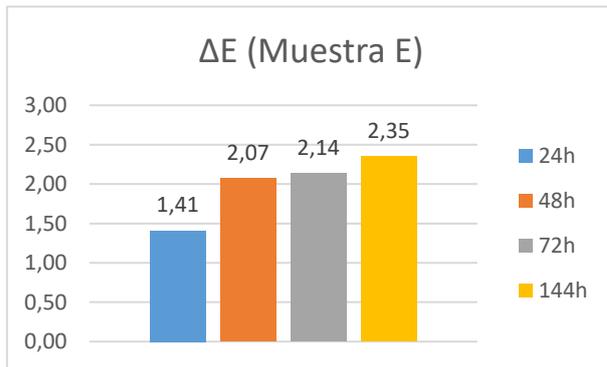


Fig.29: Delta E de la muestra E

Respecto a la diferencia total de color, Delta E, de la muestra E, existe una progresión lógica de cuanto más envejecida esté la muestra, mayor magnitud de diferencia total de color existe, mientras que la muestra menos envejecida, la que se envejeció en un ciclo de 24 horas, presenta la magnitud más pequeña. Siguiendo lo establecido en la Tabla 2, la calidad de esta muestra será normal ya que la mayor diferencia de ΔE^* es de 2,35. (Figura 29)

Muestra F:

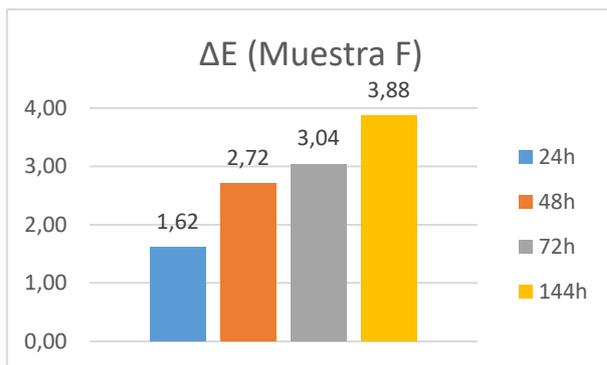


Fig.30: Delta E de la muestra F

En la muestra F, podemos ver en la Figura 30, la diferencia total de color, Delta E, evidencia una evolución ascendente a medida que las probetas tienen un ciclo de envejecimiento de mayor tiempo. Es decir, la muestra que más diferencia de tonalidad total presenta es la muestra que se sometió a un envejecimiento de 144 horas, frente a la que menor diferencia de tonalidad presenta que es la muestra que se sometió a un envejecimiento de 24 horas. El valor máximo alcanzado por la probeta sometida a un ciclo de 144 horas llegó a una diferencia de tonalidad de 3,88, es por eso que esta probeta la denominamos según la Tabla 2, de una calidad normal.

Muestra G

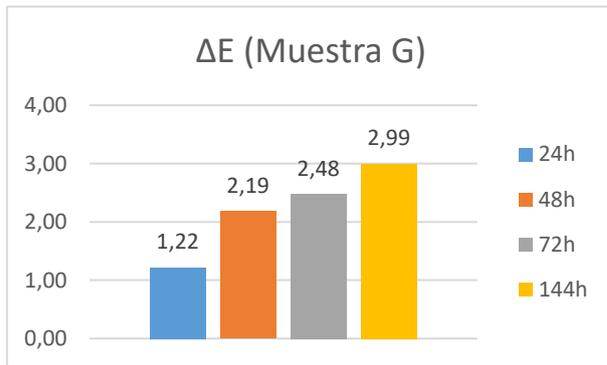


Fig.31: Delta E de la muestra G

En la muestra G, podemos ver como la muestra envejecida con una mayor diferencia total de color es la muestra envejecida por 144 horas mientras que la muestra con menor Delta E es la muestra envejecida por 24 horas. Partiendo de estos valores plasmados en la *Figura 31* y de los valores de tolerancia para ΔE^* podemos definir esta muestra como de una calidad normal.

Muestra H:

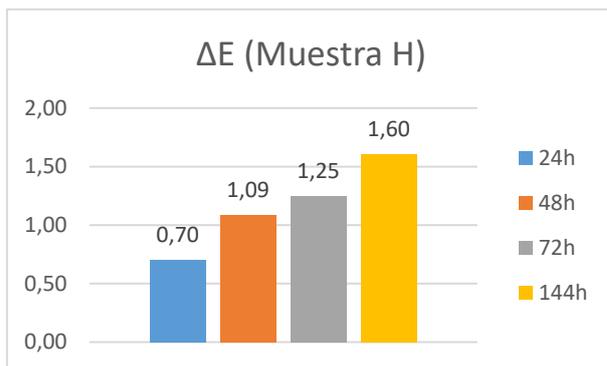


Fig.32: Delta E de la muestra H

Como es de imaginar tras los datos obtenidos, la probeta que fue envejecida en un ciclo de 24 horas es la que presenta la menor magnitud de diferencia total de color, la siguiente sería la muestra envejecida en un ciclo de 48 horas, la siguiente la envejecida 72 horas y por último la muestra con una mayor diferencia Delta E fue la muestra envejecida 144 horas. (*Figura 40*) Siguiendo lo establecido en la *Tabla 2*, la calidad de esta muestra será buena ya que la mayor diferencia de ΔE^* es de 1,60.

Muestra I

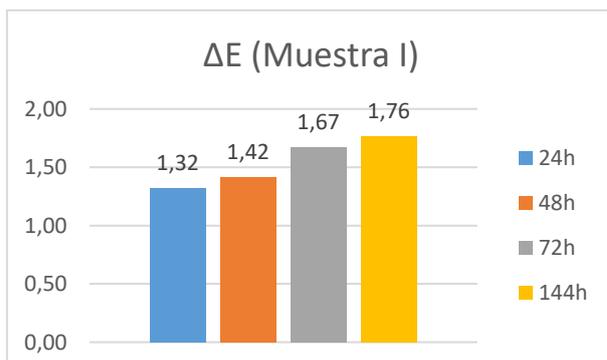


Fig.33: Delta E de la muestra I

Gracias a estos datos sabemos que en la muestra I, que la probeta envejecida con una mayor diferencia total de color es la muestra envejecida por 144 horas mientras que la muestra con menor Delta E es la muestra envejecida por 24 horas. Teniendo en cuenta los valores expuestos en la *Figura 33*, y los niveles de tolerancia para ΔE^* expuestos en la *Tabla 2*, tendría una calidad buena ya que el nivel máximo encontrado es de 1,76.

Muestra J:

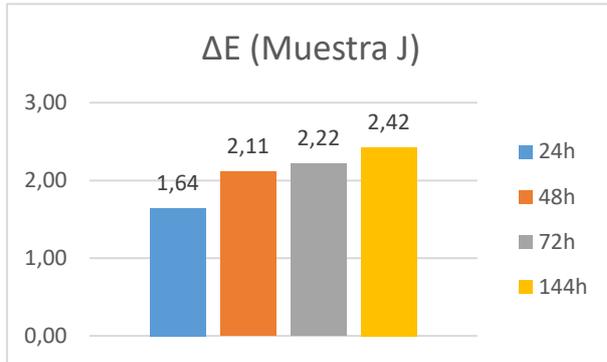


Fig.34: Delta E de la muestra J

Gracias a estos datos plasmados en la *Figura 34*, sabemos que en la muestra J, la probeta envejecida en un ciclo de 24 horas es la que presenta la menor magnitud de diferencia total de color, la siguiente sería la muestra envejecida en un ciclo de 48 horas, la siguiente la envejecida 72 horas y por último la muestra con una mayor diferencia Delta E fue la muestra envejecida 144 horas. Existiendo una evolución ascendente de la Delta E a medida que se van envejeciendo cada vez más las probetas. Partiendo de esto y de los valores de tolerancia para ΔE^* podemos definir esta muestra como de una calidad normal.

6. Discusión de resultados

A pesar de las condiciones de envejecimiento a las que se sometieron las muestras (temperatura de 80°C, HR del 65% y 55 Wm-2) en cada uno de los diferentes ciclos (24 horas, 48 horas, 72 horas y 144horas), podemos decir que la pulpa que se emplea en el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico para la reintegración volumétrica de documentos por medio de la reintegradora mecánica, es bastante estable.

En cuanto al pH, según los valores obtenidos por las tiras medidoras de pH en cada una de las muestras antes y después de su envejecimiento, la composición de cada una de las muestras, tanto de las diferentes pulpas de algodón y lino como de los diferentes pigmentos proporcionados por Arte y Memoria al Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, y por ende, de cada uno de los diferentes tonos del muestrario, en cuanto a la acidez o basicidad, son muy estables a los diferentes agentes de degradación a los que fueron sometidos como la temperatura, la humedad relativa y la luz.

Aun con esto, la información obtenida por la medición del pH es relativa ya que el sistema empleado para medir el pH es sin extracción de muestra, existen factores que influyen y no permiten una determinación absolutamente fiel ni reproducible, también influye el número de mediciones, una o varias mediciones puntuales no pueden llevar a un diagnóstico general del objeto. Aun así, esta prueba de medición del pH es un buen indicador accesible para el diagnóstico del estado químico del soporte y sigue usándose como referencia en investigaciones sobre la permanencia del papel como esta.

Como ya vimos en el punto anterior, en cuanto a cambios dimensiones, de peso y espesor, las muestras, tras haber sido sometidas a los diferentes ciclos de envejecimiento, apenas sufrieron cambios. Las dimensiones permanecieron constantes en todo momento, en cambio, el peso y espesor si sufrió ligeras variaciones.

Esta diferencia de peso y espesor seguramente no fue provocada por el envejecimiento, ya que, dimensionalmente hablando, cada una de las muestras se mantuvo estable en todo momento. Esta diferencia se cree que quizás fue provocada en el proceso de fabricación del muestrario ya que es posible que, en este proceso, en el momento en el que se introdujo en la reintegradora mecánica la pulpa suspendida en el agua, no se distribuyera del todo homogéneamente por la superficie, dejando zonas con más pulpa que otras y por tanto con un mayor peso o espesor. Con esta información, podemos decir que, aun sometiendo a muestrario a unas condiciones extremas de temperatura, humedad relativa y luz, en diferentes ciclos, la composición de cada una de las muestras, es muy estable a estos agentes atmosféricos y por tanto soportan correctamente el envejecimiento.

Respecto a los datos obtenidos con el colorímetro podemos afirmar que existe, en todas las muestras que fueron envejecidas, respecto a las que no, una clara tendencia ascendente hacia una mayor Delta E a medida que un mayor ciclo de envejecimiento han tenido las probetas.

Si es verdad que, de las 10 muestras, únicamente 2 de ellas presentaron una mala calidad, y por tanto una mala resistencia física a los agentes de degradación, mientras que el resto de muestras oscilaron una buena o normal conservación.

Con esta información, podemos decir que, aun sometiendo al muestrario a unas condiciones extremas de temperatura, humedad relativa y luz, en diferentes ciclos, la composición de cada una de las muestras, es relativamente estable a estos agentes atmosféricos aunque no inmune, se ha podido ver como se han degradado ligeramente y como a medida que se iban envejeciendo cada vez más las muestras, mayor era el cambio tonal.

7. Conclusiones

Aun teniendo como objetivo principal de este proyecto, la puesta en práctica de los conocimientos y habilidades adquiridas durante mi formación como restauradora, he de reconocer que ha habido muchos momentos de frustración. Debido a que se trata de mi primer proyecto de investigación, de que lo que yo creía que iba a poder salir más airosa, me ha costado mucho, pasando por alto ciertos aspectos sin tener en cuenta cómo podrían repercutir a futuro en mi investigación.

Como objetivo general teníamos la fabricación de un nuevo muestrario de pulpa de papel y la evaluación de este frente al paso del tiempo. Este objetivo se cumplió ya que cada uno de los exámenes realizados sobre cada una de las muestras nos ayudó a profundizar en como afectaban agentes de deterioro (la luz, la humedad relativa y la temperatura) a la composición de cada una de las diez muestras que se realizaron.

Gracias a pruebas como la medición del peso, espesor y cambio de color se pudo evaluar y analizar como afectaban los diferentes agentes atmosféricos al envejecimiento en las pulpas y a sus colorantes, a sus propiedades físicas. Respecto a sus propiedades químicas realizamos análisis y pruebas como la medición del pH frente al envejecimiento, aunque como ya mencionamos en el punto anterior, la información obtenida por la medición del pH es relativa ya que el sistema empleado para medir el pH no es el más adecuado para poder obtener resultados muy certeros.

Todo ello nos permitió determinar la resistencia de las diferentes composiciones y muestras de pulpa de papel al envejecimiento.

8. Referencias bibliográficas

Libros y artículos científicos

A

Alberola, R. (1996). El papel: su fabricación, propiedades y conservación.

Nissan, A. (1970). The Properties os Paper.

B

Barrow, E. (1974). The Permanence of Paper.

Biermann, C. J. (1992). The effect of fiber length on paper properties.

Biermann, C. J. (1994). The effect of aging on the water absorption properties of paper.

Biermann, C. J. (1996). The effect of aging on the mechanical properties of paper.

Brehm, J. P. (1994). Pulp and Paper Chemistry and Technology.

Britt, M. J. (2001). The relationship between pulp strength and paper strength.

Britt, M. J. (2002). The development of new methods for the prevention of paper aging.

C

Crespo, C., & Viñas, V. (1984). La preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, París.

D

Del Castillo Negrete, M. (1995). Estudio comparativo de los efectos que tienen los consolidantes sobre el papel. Ed. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, México.

De Lera Santín, A. (2011). Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa. [Tesis Doctoral]. Universidad del País Vasco.

Dörfler, Ernst. (1987). Handbook of Paper and Paperboard.

F

Farrington, J. D. (1983). The impact of pulp brightness on paper brightness.

G

García Hortal, J. A. (1987). Constituyentes fibrosos de pastas y papeles: Morfología Análisis Microscopio.

GF, R. (2019). Efecto de los factores ambientales en los materiales constitutivos de manuscritos históricos replicas de papel y tintas [TFM].

H

Helbig, M. J. (2011). The role of recycled pulp in papermaking.

L

Lindström, M. (2009). Mechanical pulping.

Lozano R. D. (1976). El color y su medición [Américaleé].

M

McGovern, J. N. (1981). Pulp and paper manufacture. En Other fibers: Vol. Vol 3: Secondary Fibers and Non-Wood pulping. Joint Textbook commitlee of the Paper industry.

Mestre, M. T. (2001). Conservación y restauración de papel.

Meunier, R. M., et al. (2005). Chemical pulping.

N

Nissan, A. A. (1970). The Properties os Paper.

R

Rencoret Pazo, J. (2004). Estudio de lignina y lípidos en madera de eucalipto: Caracterización química en distintas especies y su evolución durante la fabricación y blanqueo químico y enzimático de la pasta de papel. Universidad de Sevilla.

S

Smook, G. A. (1990). Manual para técnicos de pulpa y papel.

T

Tello Burgos, N. (2017). Estudio del azul de índigo y su degradación mediante distintas técnicas analíticas y en diversos tratamientos de restauración [Tesis Doctoral]. Universidad de Granada.

V

Vaillant, M., & Valentín, N. (1996). Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro. Ed. Ministerio de educación y cultura IPHE, Madrid.

Vergara Peris, J. (2001). Conservación y restauración de material cultural en archivos y bibliotecas.

W

Williams, J. C. (1978). Papermaking science and technology.

X

Xu, F., et al. (2008). The influence of pulp aging on the water absorption of paper.

Xu, F., et al. (2009). The influence of pulp freeness on paper properties.

Xu, F., et al. (2010). The impact of pulp type on paper properties.

Xu, F., et al. (2010). The influence of environmental conditions on the aging of paper.

Recursos Web

Entendiendo el Espacio de Color CIE L*a*b*. (s. f.). Konica Minolta. Recuperado 8 de agosto de 2024, de <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Medidor de color CR-200. (s. f.). Konica Minolta.

Técnicas a utilizar: Espectroscopia Infrarroja (IR). (2006, 25 septiembre). Caracterización de materiales cristalinos Práctica Guiada. Recuperado 29 de julio de 2024, de <https://www.ehu.es/imacris/PIE06/web/IR.htm>

Tipos y usos de pulpa de papel. (2021, 22 abril). China Paper Factory. Recuperado 8 de agosto de 2024, de <https://es.chinapaperfactory.com/news/types-and-uses-of-paper-pulp-43617823.html>

TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry): <https://www.tappi.org/>

Paper Industry Association: <https://www.afandpa.org/>

European Pulp and Paper Association: <https://www.cepi.org/>

Library of Congress Preservation: <https://www.loc.gov/preservation/about/faqs/paper.html>

Normas técnicas

ISO 29282:2011 - Pulpa y papel - Determinación de la longitud de fibra - Método por análisis de imágenes.

ISO 5269-1:2018 - Pulpa y papel - Determinación de la fluidez - Parte 1: Método Schopper-Riegler.

ISO 18743:2002 - Pulpa y papel - Determinación de la resistencia a la tracción y el alargamiento en la rotura - Método por tracción en tiras.

ISO 5263:1995 - Pulpa y papel - Determinación de la resistencia al rasgado - Método Elmendorf.

ISO 5628:2008 - Determinación de la resistencia al doblado del papel

ISO 2485:2001 - Papel y cartón - Determinación del número de dobleces

ISO 5626:1993 - Papel - Determinación de la resistencia al plegado

ISO 7724/1:1994 - Óptica e instrumentos ópticos - Colorímetros - Parte 1: Definiciones y principios generales

ISO 12547-2: Un Pilar Fundamental en la Impresión Offset