



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE PRESERVACIÓN DE
DOCUMENTOS HISTÓRICOS CON BASE EN EL DETERIORO COLORIMÉTRICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
EUNICE MAYELA ARCADIA BARRÓN

TUTOR PRINCIPAL
DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH
FACULTAD DE INGENIERIA

MÉXICO, D. F. ENERO 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Marcelo López Parra
Secretario: Dr. Vicente Borja Ramírez
Vocal: Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich
1 er. Suplente: M. I. María del Pilar Corona Lira
2 d o. Suplente: Dr. Adrián Espinosa Bautista

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: MÉXICO, D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH

FIRMA

Contenido

Introducción.....	I
Objetivos.....	III
Antecedentes.....	III
Capítulo 1. Agentes del deterioro de los documentos y su impacto	1
Factores endógenos.....	2
Composición	2
Proceso de fabricación.....	5
Impurezas	7
Tintas	7
pH	7
Factores exógenos	8
Ambientales	8
Biológicos.....	12
Humanos.....	13
Capítulo 2. La luz como factor en el deterioro de documentos	13
La luz como radiación	14
Deterioro por luz.....	15
Distribución espectral	15
Exposición total.....	16
Mecanismos de degradación	17
Oxidación	18
Fotólisis o Absorbancia	20
Capítulo 3. Evaluación del desempeño de los sistemas de preservación	22
Fundamentos del color	23
Origen del color	23
Escala de medición del color	26
Colorimetría y espectrofotometría	30
Diseño del experimento.....	33
Ejecución.....	36

Desarrollo preliminar	37
Actividades por ciclo	45
Análisis de la información	48
Resultados	48
Capítulo 4. Observaciones sobre los usuarios	57
Usuarios	57
Responsables de preservación	58
Responsables de exhibición	59
Asistentes a exhibición.....	61
Identificación de las necesidades de los visitantes	62
Resultados.....	71
Observaciones generales sobre la interacción en museos.....	72
Conclusiones.....	76
Anexo A. Ejemplo de comparación de color con sistemas L*a*b* y L*C*h.	i
Anexo B. Equipo y materiales utilizados.	ii
Anexo C. Evaluación Colorimétrica del Acta de Independencia.	vi
Referencias de figuras.....	viii

Introducción

Todos los materiales sufren un proceso de descomposición que implica deterioro; aún si los efectos resultan poco visibles y sin importar lo lento que se lleve a cabo.

En el caso del papel, su degradación reviste una importancia particular debido a que los documentos constituyen una fuente primordial de información -la más importante, al menos hasta avanzado el siglo XX- acerca de la cultura, ciencia, política, negocios e historia de prácticamente todas las culturas del mundo.

Incluso en medio de la era tecnológica de la información, los registros físicos son vitales: el papel se sigue utilizando, aun milenios después de su invención, mientras que la vida útil de los dispositivos electrónicos de almacenaje es de apenas unas décadas debido a las características del hardware y el software utilizados para su lectura.

Muchos escritos son fundamentales porque constituyen todos los registros existentes. Se debe procurar su permanencia en el tiempo, no sólo buscando preservar la información que almacenan, sino conservando los materiales, técnicas y presentación originales que fueron utilizados, ya que su existencia -en muchos casos- reviste connotaciones de carácter nacional, político, legal, económico, científico e incluso emocional.

El papel presenta una longevidad bastante engañosa, pues a pesar de que escritos antiquísimos han prevalecido hasta nuestros días, un gran número de material documental ha desaparecido para siempre.

Los mecanismos que producen la degradación son multifactoriales y complejos, e incluso determinar las condiciones de un papel particular requiere un análisis profundo. Los estudios que abarcan la descomposición del papel muchas veces incluyen la participación de investigadores y equipo altamente especializados, y se requiere una formación particular para comprender cabalmente los resultados generados.

El conocimiento actual en cuanto a la conservación resulta, en ocasiones, ambiguo y hasta contradictorio, pues o se manejan criterios muy generales que no consideran las particularidades de los componentes y la técnica de elaboración, o se encuentran recomendaciones para circunstancias tan particulares que hacen dudar de su total validez en condiciones similares.

Como resultado de lo anterior, es común encontrar que los documentos -y, en general, la mayoría de los objetos antiguos- son tratados o con franco desinterés sobre su cuidado o con excesiva precaución. Ambos extremos son igualmente negativos: por un lado su pérdida se apronta y, por el otro, se mantienen accesibles sólo para grupos muy reducidos y selectos, casi como si no existieran.

En cuanto a los sistemas de preservación basados en el uso de atmósferas anóxicas, la información es poco abundante: resalta sus beneficios para la longevidad del papel a partir de bases teóricas o con casos de aplicación específicos, pero difícilmente se puede acceder a datos que indiquen tasas de la

reducción del deterioro, o de mejoría de las condiciones generales. Aunado al elevado costo de dichos encapsulados, esta falta de reseñas disuade en gran medida de su uso.

El presente trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se presenta una introducción a los factores causantes del deterioro de papel con base celulósica. Se tratan de modo general las variables intrínsecas y extrínsecas que afectan su conservación, las cuales se asocian al proceso de fabricación y el entorno en que se encuentra.

El capítulo 2 profundiza en los efectos nocivos para la conservación ocasionados por la radiación procedente de las fuentes de iluminación.

Durante el capítulo 3 se describe la metodología llevada a cabo para la evaluación comparativa de la eficiencia de un sistema anóxico, de gas argón, para preservación y exhibición; debido a que la evaluación se realizó con base en colorimetría, se retoman conceptos relacionados y finalmente, se muestran los resultados obtenidos.

En el capítulo 4 se expone el trabajo realizado para la identificación de elementos asociados con los usuarios que pueden resultar de utilidad para el desarrollo de futuros sistemas para encapsulamiento de documentos.

Objetivos

General

Obtener medidas de evaluación para el desempeño de sistemas para preservación y exhibición de documentos históricos, considerando condiciones de exposición en museo.

Específicos

- Definir variables significativas, relacionadas con el desempeño del sistema, en términos de la conservación.
- Plantear y llevar a cabo un procedimiento de corta duración para evaluar la degradación de documentos contenidos en atmósferas inertes, considerando como referencia el deterioro en aire.
- Determinar elementos relevantes para los usuarios en relación con los encapsulados.

Antecedentes

Sistemas de Preservación para Documentos Históricos.

Son sistemas herméticos que mantienen una atmósfera químicamente estable, empleados para mantener las condiciones ambientales requeridas que favorezcan la permanencia de los documentos. Han sido empleados, principalmente, debido a que protegen en gran medida ante el deterioro ocasionado por los cambios de humedad y temperatura, ataque de hongos, bacterias o insectos, y partículas contaminantes del aire que se encuentran en las áreas urbanas e industrializadas.

El primer sistema de preservación y exhibición de documentos fue construido en 1951 para las cartas de Libertad de los Estados Unidos (es decir, la Declaración de Independencia y la Constitución), a partir de

una atmósfera de gas Helio con 25% de humedad relativa; convirtiéndose así en el parteaguas que desencadenó investigación más profunda sobre la preservación de obra documental histórica y la consecuente construcción de sistemas parecidos alrededor del mundo (Tabla 1).

Sistema	Año
Cartas de la Libertad	1951
Carta Magna	1980
Momia Egipcia	1989
Constitución de la India	1994
Constitución de Puerto Rico	1995
Re encapsulamiento Cartas de La Libertad	2001
Mapa del Mundo Waldseemüller	2005
MIT Proyecto de los Archivos de Massachusetts	2007
Bicentenario México	2010

Tabla 1. Sistemas desarrollados para preservación y exhibición.

Cápsulas del Bicentenario

México tiene una gran cantidad de instituciones que resguardan material documental, entre las cuales se encuentran archivos, museos, bibliotecas, centros culturales, universidades, institutos, etc. Estos espacios tienen en común el reto de preservar dicho patrimonio al mismo tiempo que la necesidad de acercarlo a un público, con el fin de hacer difusión de sus colecciones, promover la investigación y mostrar su relevancia histórica.

El proyecto “*Cápsulas del Bicentenario*”, llevado a cabo bajo solicitud del Archivo General de la Nación (AGN) y de Presidencia de la República -de Noviembre de 2009 a Noviembre de 2012, en el marco de las celebraciones del Bicentenario de la Independencia de México- fue llevado a cabo mediante la vinculación que realiza el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) y el programa en Diseño Mecánico de la División de Posgrado, ambos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Consistió en el desarrollo de un sistema que permitiera exhibir, de manera segura, dos de los documentos de mayor trascendencia para nuestro país y pilares de su establecimiento: el *Acta de Independencia* y *Los Sentimientos de la Nación*, escrito de José María Morelos y Pavón.



Figura 1. Cápsulas del Bicentenario.

El acercamiento con el Archivo General de la Nación hizo manifiesto el interés y, al mismo tiempo, el desconocimiento que existe en nuestro país acerca de la preservación y exhibición en condiciones anóxicas.

El trabajo conjunto culminó en la instalación del “Sistema de Preservación y Exhibición de Documentos Históricos” (*Cápsulas del Bicentenario*) (Figura 1) al interior de la Galería Nacional del Palacio Nacional, en Septiembre de 2010, para su exhibición –durante un año- dentro de la exposición “*México 200 años: La patria en construcción*”. Posteriormente, se mostraron en la sala del recinto parlamentario durante un año más, antes de ser entregados nuevamente al Archivo General de la Nación.

El proyecto lo realizó un equipo integrado por estudiantes y profesores de la Maestría en Ingeniería Mecánica, Especialidad en Diseño Mecánico de la UNAM.

A partir de las observaciones realizadas, se llevó a cabo el trabajo reportado en la presente tesis, en torno a la investigación sobre los efectos particulares que produce la luz en los documentos y de la forma en que los visitantes se relacionan con las exhibiciones. Asimismo, se presenta una metodología no invasiva mediante la cual es posible establecer una referencia para cuantificar el desempeño de los sistemas de preservación basados en atmósferas anóxicas.



Figura 2. Equipo de trabajo, Cápsulas del Bicentenario.

Capítulo 1. Agentes del deterioro de los documentos y su impacto

El principal material donde se lleva a cabo el registro documental es el papel -94 % de la información almacenada por el hombre¹. Dicho término se refiere a un conjunto de materiales con características altamente similares, pero también importantes diferencias que se han desarrollado a lo largo del tiempo, dependiendo del proceso de fabricación y su aplicación final.

El deterioro del papel implica todos los procesos físicos y químicos que conllevan a la pérdida irreversible de sus propiedades². Se puede considerar como la reducción en permanencia del material, que se refiere a la estabilidad química y el potencial de resistencia aunque no se encuentre en uso. No se debe confundir con la durabilidad del papel, que está relacionada con la capacidad de soportar el desgaste (“stress”) mecánico³.

El envejecimiento se relaciona con los cambios a largo plazo que suceden en el material por efecto del ambiente⁴.

La permanencia de un papel puede variar considerablemente con respecto de otro. Un documento del siglo XV puede ser menos propenso a la degradación que otro elaborado el siglo pasado; esto, dependiendo del tipo y calidad de la materia prima con la que fueron elaborados, del método de fabricación, así como del medio ambiente en que se mantienen.

Los cambios que se originan en el soporte durante el envejecimiento de los documentos ocurren a dos niveles⁵:

- Primario. Ocurre a nivel molecular, cuando se produce la ruptura de las moléculas, como es el caso de la ruptura de enlaces glucosídicos de la cadena celulósica.
- Secundario. Se producen a partir de los cambios primarios y producen efectos macroscópicos manifestados en el cambio de algunas propiedades.

A grandes rasgos, se puede dividir a los agentes que producen cambios en las propiedades del papel en dos grupos: factores endógenos, relativos a las características del propio documento, y factores exógenos, asociados con el entorno (Figura 3).

¹ Vaillant Callol Milagros y Nieves Valentín Rodrigo, *Principios Básicos de la Conservación Documental y Causas de su Deterioro*, Instituto del Patrimonio Histórico Español, 1996, p. 23.

² Strlic Matija y Kolar Jana, *Ageing and stabilization of paper*, Ljubljana : National and University Library, 2005, p.19.

³ Goren Silvio, *Manual para la preservación del papel: nueva era de la conservación preventiva y su aplicación actualizada*, Alfagrama, 2010.

⁴ Strlic, p.19.

⁵ Vaillant, p.43.

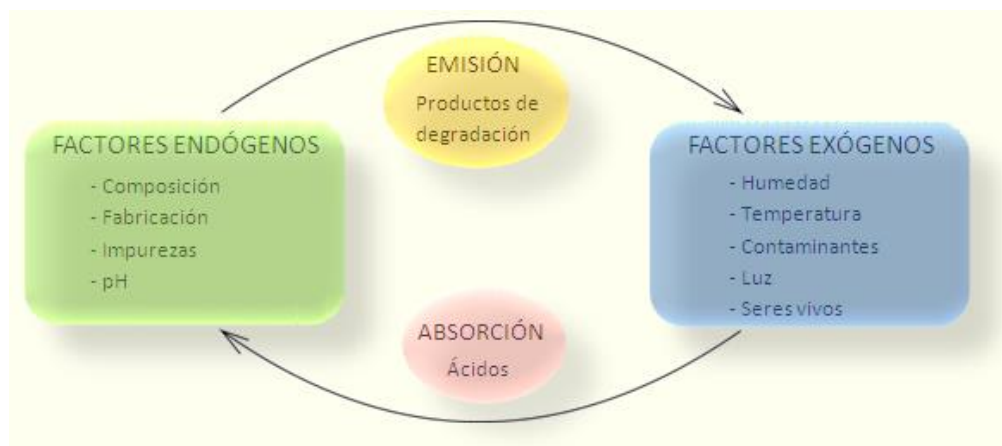


Figura 3. Factores de deterioro.

Factores endógenos

Son aquellos relativos a la naturaleza misma del material. Corresponden a: la composición del papel - derivada de las materias primas y de los compuestos añadidos para modificar sus propiedades-, el proceso de producción utilizado, las impurezas contenidas y los materiales añadidos después de su elaboración, como tintas y pigmentos colorantes.

Composición

Los materiales documentales referidos en este trabajo tienen como soporte el papel; el cual, en términos generales, es un material conformado por fibras vegetales (redes poliméricas de celulosa) que, por secciones, presentan estructura cristalina y amorfa.

La celulosa es un polímero natural, que consiste de fibras compuestas por unidades estructurales más pequeñas, llamadas microfibrillas. Sin importar la fuente, presenta la misma estructura cristalina (Figura 4), que se denomina celulosa I o nativa.

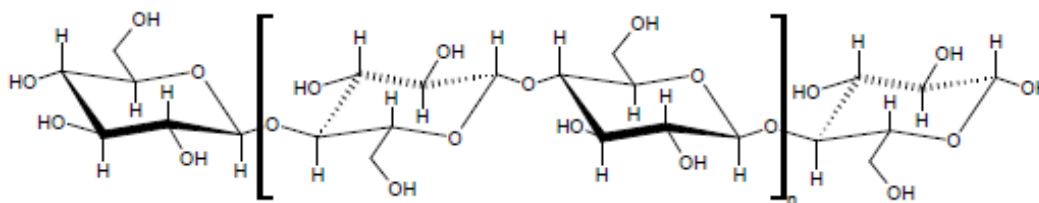


Figura 4. Estructura de la celulosa.

La estructura fibrosa se debe a los grupos hidroxilo (OH) presentes en su estructura, responsables de la cohesión de la celulosa mediante la formación de enlaces por puente de hidrógeno tanto intramoleculares como entre unidades de la cadena polimérica, y con diferentes cadenas. Asimismo, los grupos hidroxilo libres dan propiedades como la absorción de agua (higroscopía).

Se puede decir que la composición de del papel depende de los siguientes elementos: las fibras, las colas y las cargas empleadas en su la fabricación.

Fibras

La celulosa es el componente que proporciona la fortaleza estructural del papel, por lo que las materias primas utilizadas tienen un alto contenido de la misma.

A mayor longitud de las fibrillas, se puede decir que el papel es de mejor calidad, pues aumenta el número de uniones entre cada fibra y las aledañas, lo que le proporciona una resistencia mecánica superior.

Se pueden clasificar las fibras empleadas, de acuerdo con su origen, en:

- No lignificadas o liberianas.

Proviene de tallos no leñosos (lino, cáñamo), frutos (algodón) y fibras textiles (algodón, lino). Antes de la producción industrializada, en oriente se emplearon directamente de fuentes vegetales, mientras que en occidente se usaban los trapos.

En general, son la mejor base para la elaboración del papel, puesto que suelen contener celulosa pura y un buen largo de fibra.

- Lignificadas.

Se emplearon a partir del s. XVIII, provenientes de algas, pajas, cardos, ortigas, entre otros, con resultados poco satisfactorios debido a su pobre calidad.

Básicamente fueron utilizadas durante un período de búsqueda de materiales alternativos para la fabricación del papel, que culminó con la adopción de la madera.

- Madereras.

Como su nombre lo indica, provienen de la madera, compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina, resinas, sales, etc. Empezaron a utilizarse a mediados de 1800 y, por cuestiones económicas, actualmente es la fuente casi exclusiva para fabricación de papel.

Principalmente se emplean coníferas, que proporcionan fibras largas de celulosa, y maderas frondosas (como eucalipto, álamo y abedul), que proporcionan fibras más cortas.

Ya que la celulosa está mezclada con otros elementos, que pueden considerarse impurezas, es necesario extraerlos o modular su presencia (especialmente tratándose de la lignina) para evitar el amarillamiento, la acidez y el deterioro prematuro, por lo que la calidad de esta materia prima depende del procesamiento de la pulpa.

Colas

Son utilizadas para modificar las propiedades del papel, aumentando el gramaje, el espesor, la rigidez y la resistencia a la abrasión durante el borrado, así como disminuyendo la porosidad y la blancura. El encolado cambia el acabado superficial (rugoso, granulado, liso o satinado); sin él, las hojas son excesivamente porosas y actúan como secante.

Se pueden distinguir dos tipos:

- Vegetales. Almidones provenientes del grano de los cereales y la fécula de la papa. Utilizados principalmente en oriente.
- Animales. Esencialmente colágeno; se obtienen a partir de restos de piel, cartílago, tendones y huesos de mamífero o pez, así como del cuajo de la leche (caseína).
- Sintéticas. Producidas químicamente, para obtener los componentes principales de los dos grupos anteriores.

Debido a que las colas animales se descomponen con cierta facilidad, se hizo común la adición de alumbre (sulfato de potasio) que, además de controlar su deterioro y viscosidad, da mayor cohesión e impermeabilidad al papel. Esto trajo consigo una fuerte acidificación del papel que, como se verá más adelante, resulta perjudicial.

Cargas

Son materiales minerales pulverizados añadidos a la materia prima para dar mayor blancura u opacidad, y en ocasiones para reducir la acidez.

Permanecen entre las fibras de celulosa, por lo que reducen el número de enlaces celulósicos, disminuyendo la resistencia mecánica.

Proceso de fabricación

Se puede considerar dos procedimientos principales en la elaboración del papel, a partir de las técnicas generales utilizadas: una es la fabricación artesanal, y la otra, la producción industrial.

Fabricación artesanal

Se utilizó como forma única hasta finales del siglo XVIII. Las materias primas utilizadas fueron las fibras no lignificadas.

El procedimiento general consistía en:

- Macerar la materia prima durante varios días, en agua.
- Machacar la mezcla hasta conseguir la completa separación de las fibras.
- Cernir el material (pasta) sobre un molde poroso.
- Escurrir y posteriormente prensar, para separar el agua y mejorar la unión de las fibras.
- Secar las hojas al sol.
- Encolar y secar nuevamente.
- Lijar la superficie mediante el uso de un abrasivo para hacerlo más fino y terso (sólo en algunos casos).

A partir de 1500, el encolado comenzó a añadirse desde la pasta, antes del cernido del material. Comenzando el siglo XVIII se implementó el uso de rodillos para compactar la hoja, cerrar los poros y otorgarle tersura, en un mismo paso.

En general, se considera que los papeles artesanales son de la mejor calidad y que presentan alta permanencia, debido a que utilizan materias primas sin lignina y con un buen largo de fibra. Esto es cierto siempre que las fibrillas no fueran cortadas por un exceso de machacado, que los trapos empleados no se encontraran degradados por blanqueamientos excesivos, o que el encolado no fuera adicionado con altas cantidades de alumbre.

Producción industrial

Surge por el aumento de la demanda del papel y la necesidad de incrementar el tamaño de sus formatos, realizando el proceso en menos tiempo y a un menor costo. Básicamente se realiza a partir de materia prima maderera, desde mediados del siglo XIX.

El procedimiento general realizado por la máquina es muy similar al empleado en la elaboración artesanal:

- Se utiliza una malla metálica sobre la que se distribuye la mezcla de pasta y agua.
- El escurrido se efectúa por vibración o mediante el uso de rodillos, cuando la mezcla aún está sobre la malla.
- Se retira el material de la malla y se pasa por rodillos para ser prensado y ayudar al secado.
- El encolado se realiza en masa, pudiendo hacerse directamente en la pasta o de manera superficial.

El cambio en la tecnología de fabricación derivó en tres métodos diferentes para la obtención de la pasta, en que se produce rápidamente y sin necesidad de macerar la materia prima:

- Mecánico

Se realiza una disgregación mecánica de la madera, mediante la aplicación de presión o abrasión. Se utiliza agua o vapor para acelerar el reblandecimiento. Tiene un rendimiento de 91-97%, y constituye alrededor de la cuarta parte de la producción mundial de papel.

Con este procedimiento no se solubiliza la lignina y, junto con algunos otros elementos de la madera, permanece en el producto final; además, la longitud de las fibras se acorta considerablemente. Por ello, se utiliza para productos en que los precios y la calidad exigidos son bajos, como en el caso de fabricación para papel de periódico, cartón y tableros.

- Químico

La madera se trata mediante el uso de químicos en agua, a temperatura y presión elevadas, para obtener la pasta. Su rendimiento va del 45-55%; se emplea para la fabricación del papel de edición y de escritura.

Durante el proceso se van disolviendo la lignina, y algunos otros elementos de la madera, por lo que se retiran de la pasta; sin embargo, el papel resultante normalmente tiene tendencia ácida.

- Semicuímico

Es una combinación de los anteriores, que se lleva a cabo en dos etapas. Primero, se realiza un tratamiento químico para debilitar los enlaces de las fibras y, posteriormente, el tratamiento mecánico.

La lignina se elimina parcialmente y el papel resultante aún mantiene cierta tendencia ácida.

Cabe mencionar que el papel hecho en máquina sufre deformaciones al ser mojado, debido a que las fibras, alineadas en el sentido de la marcha de la máquina, se desordenan; mientras que en el papel hecho a mano, las fibras se encuentran distribuidas de forma relativamente homogénea, lo que le da mayor estabilidad dimensional. De hecho, el papel de máquina se expande alrededor de cinco veces más

en el sentido transversal que en la dirección de la máquina -y la diferencia puede ser hasta diez veces mayor⁶.

Los papeles recuperados y reciclados presentan menor resistencia mecánica, sin importar la técnica de fabricación, ya que las fibras del papel que se utiliza como materia prima se recortan durante el triturado empleado en su producción.

Impurezas

Se asocian con la fabricación del papel. Algunos ejemplos son:

- Presencia de metales, originada por el agua empleada o las mallas, que aceleran la degradación al ser catalizadores para procesos de oxidación que decoloran los pigmentos, degradan y oscurecen el papel.
- Elementos residuales de las operaciones de blanqueo, como el cloro, que generan acidificación y pueden reaccionar con otros componentes.
- Productos originados durante la purificación de la celulosa de madera (producción de pastas por métodos químicos), que son químicamente inestables.

Tintas

Las de mayor cuidado son aquellas con base metálica, especialmente las llamadas ferrogálicas (que están compuestas por sales de hierro y un ácido), que reaccionan con el anhídrido carbónico de la atmósfera formando ácido sulfúrico.

Pueden tener un efecto importante sobre el soporte de papel, llegando a perforarlo mediante la formación de ácidos, e incluso traspasando varias hojas.

Mientras más negras son las tintas, mayor es el deterioro que generan.

pH

La durabilidad de un documento depende en buena medida de su acidez o alcalinidad.

Un pH bajo es indicativo de pobre permanencia. Por el contrario, si el papel es neutro o ligeramente alcalino, su expectativa de vida se incrementa.

⁶ Goren, p.70.

La acidez puede deberse, como se vio en los puntos anteriores, a las sustancias ácidas añadidas durante la fabricación (alumbre, lignina, residuos del blanqueo como cloro, partículas de hierro o cobre, etc.) o posteriormente (tintas y pigmentos, especialmente con componentes metálicos), así como a los productos de la degradación ocasionada por factores exógenos como la luz o las altas temperaturas. Los formatos de grandes dimensiones también la propician⁷.

Esta relación con el resto de las variables que influyen en el deterioro hace que el pH sea un indicador significativo asociado con los factores endógenos. La desacidificación es un proceso común en la conservación preventiva, llevando mediante tratamientos químicos el pH por arriba de 7 para contrarrestar la futura presencia de ácidos.

Factores exógenos

Son ajenos al material documental, agentes que interactúan con él a través de mecanismos físicos y químicos. Se pueden agrupar en aquellos relacionados con: las condiciones del entorno (ambientales), los procesos de organismos vivos (biológicos) y el manejo o manipulación (humanos).

Estos “constituyen la verdadera energía de activación de las causas endógenas, en otras palabras, las que hacen que un soporte potencialmente inestable sea un soporte desestabilizado”⁸.

En este sentido, es mediante la manipulación de los factores externos donde se encuentran mayores posibilidades para mejorar la conservación de documentos, principalmente cuando se complementa con un adecuado proceso de desacidificación.

Ambientales

Se consideran para el microclima dentro del cual se encuentra el documento. Pueden dividirse en cuatro principales: humedad, temperatura, contaminación e iluminación.

Son los factores exógenos más relevantes, debido a que su control resulta ser el más complejo.

Humedad

⁷ Rodríguez Lazo María Dolores, *El soporte de papel y sus técnicas: degradación y conservación preventiva*, Universidad del País Vasco, Servicio Editorial, 1999, pp.128-129.

⁸ Sánchez Hernampérez Arsenio, *Políticas de Conservación en Bibliotecas*, Arco Libros, 1999, p.81.

Se define como la medida del contenido de agua, en forma de vapor, que se encuentra en la atmósfera. La cantidad máxima de agua que puede soportar un volumen de gas antes de la condensación (formación de líquido a partir del vapor) depende de la temperatura, y se denomina saturación.

Hay dos términos que se emplean para referirse a este factor:

- Humedad Absoluta

Es el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire. Se expresa en unidades de masa de agua por unidades de masa, o de volumen, de aire seco. Frecuentemente se utiliza la medida de gramos de vapor de agua por metro cubico.

$$Y = mv/mg$$

Y= Humedad absoluta

mv= Masa de vapor de agua

mg= Masa de gas

No indica si el aire está saturado o cuánto más puede absorber, y sus cambios no son significativos para la conservación de los materiales, siempre que la humedad relativa permanezca constante⁹.

- Humedad Relativa

Es la razón entre el contenido efectivo de vapor en un volumen de atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría ese mismo aire, a la misma temperatura¹⁰. Se expresa en forma de porcentaje:

$$HR = v/m * (100\%)$$

HR= Humedad Relativa

v= Cantidad de vapor de agua en un volumen dado de aire

m= Máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede contener a esa temperatura

Este valor describe el comportamiento de los materiales higroscópicos (aquellos que al aumentar la humedad del ambiente la absorben y al decrecer la pierden) con relación a la humedad del ambiente que los rodea y muestra la capacidad del ambiente para proporcionar o absorber humedad de los materiales.

⁹ Goren, p.51.

¹⁰ Rodríguez, p.134.

En un volumen, si no se agrega o elimina nada de agua, la interacción entre humedad relativa, temperatura y contenido de humedad de los materiales se puede simplificar de la siguiente forma:

Al disminuir la temperatura, la humedad relativa y el contenido de humedad del material aumenta.

Al aumentar la temperatura, la humedad relativa y el contenido de humedad del material disminuye.

La aparición de condensación se produce cuando el aire saturado sufre una baja de temperatura. Este fenómeno genera resultados negativos, debido a diferentes razones:

- Ya que el papel es un material higroscópico, el agua produce movimiento de sus estructuras. Las fluctuaciones de humedad relativa producen hinchazón o dilatación al absorber agua (cuando sube la HR) y contracción al liberarla (cuando baja). Esto produce pérdida de la elasticidad y solidez del material, haciéndolo blando o causando grietas y deformaciones¹¹.
- La resistencia al doblado puede triplicarse al aumentar la humedad relativa del 20% al 50%¹².
- Transporta productos nocivos (químicos o microorganismos) a la superficie del papel.
- La humedad relativa elevada fomenta reacciones químicas perjudiciales (especialmente en combinación con alta temperatura). Es necesaria para que se lleve a cabo la hidrólisis ácida del papel y facilita la acción de contaminantes industriales y urbanos en los materiales orgánicos. De hecho, en pruebas de envejecimiento artificial, el agregado de agua duplica los resultados¹³.
- Estimula el crecimiento de hongos y bacterias, además de la actividad de insectos.
- Las altas concentraciones de humedad relativa favorecen el desvanecimiento y corrimiento de gran número de tintas. La decoloración en el papel ocurre con mayor rapidez en altos niveles de humedad.
- Cuando existe cierto grado de acidez, microorganismos, oxidación por impurezas y humedad, se producen manchas de color pardo en la superficie del papel, llamadas "foxing"¹⁴.

Por otro lado, la humedad es necesaria para la prevención de la desecación que vuelve a los documentos quebradizos. Una baja humedad relativa puede producir deshidratación del sustrato

¹¹ Gómez María Luisa, *La restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, Cuadernos de arte del Instituto del Patrimonio Histórico Español, Ediciones Cátedra, 1998, p.137.

¹² Goren, p.71.

¹³ Ibid, p.68.

¹⁴ Idem.

celulósico, tornándolo frágil y friable, y resecar las colas, provocando que se cuarteen y disminuyendo su resistencia¹⁵.

Temperatura

Es una medida de energía térmica, manifestada en el movimiento aleatorio de las moléculas de una sustancia en equilibrio térmico¹⁶. Las moléculas en movimiento colisionan y causan cambios químicos y, por consecuencia, deterioro en los materiales. La unidad de medida es +/- Kelvin (°K), Centígrados (°C), Fahrenheit (°F).

El calor puede producir deterioro a través de los siguientes efectos:

- La energía calorífica es una fuente de energía de activación.
- Acelera las reacciones químicas, aumentando su proporción al doble con cada incremento de temperatura de 10 °C¹⁷.
- Produce efectos mecánicos de contracción y dilatación. Esto es indeseable porque los documentos están hechos de componentes que absorben calor y se expanden a diferentes grados. Cambios rápidos y frecuentes en la temperatura causan estrés que lleva a la ruptura estructural de los materiales.
- La temperatura cálida propicia la presencia y proliferación de organismos vivos perjudiciales.
- La temperatura tiene efectos directos en los cambios de humedad relativa.

Contaminantes atmosféricos

El primer efecto de los contaminantes es el incremento de la acidez. Muchos provienen de la quema de combustibles fósiles y son ácidos u oxidantes. Entre los más dañinos se encuentran¹⁸:

- El dióxido de azufre (SO₂) es el agente que causa más deterioro, ya que es fácilmente absorbido por sus superficies. El SO₂ fácilmente se combina con Oxígeno para formar trióxido de sulfuro (SO₃), que en presencia de la humedad del ambiente reacciona para formar ácido sulfúrico, un fuente corrosivo que afecta a los documentos haciéndolos quebradizos.

¹⁵ Rodríguez, p.135.

¹⁶ Himmelblau David M., *Balances de materia y energía*, Prentice Hall, 1995, p.33.

¹⁷ Morrow Carolyn Clark y Walker Gay, *The Preservation Challenge: A Guide to Conserving Library Materials*, Knowledge Industry, Professional Librarian Series, 1983, p.12.

¹⁸ Morrow, p.14-15.

El principal efecto es el oscurecimiento de las superficies. En el caso de los papeles de baja calidad, pueden oscurecerse y presentar friabilidad incluso en diez años¹⁹.

- También presente en la atmósfera como agente contaminante se encuentra el ozono, que actúa como un potente destructor de los materiales orgánicos. Es un oxidante energético capaz de romper los vínculos dobles de los enlaces de carbono.

Después de una exposición prolongada al ozono, se presenta una pérdida de consistencia y los colorantes palidecen.

- El dióxido de nitrógeno, al combinarse con agua, forma ácidos nitroso y nítrico que atacan a los pigmentos en las tintas, al papel y la piel, por sus efectos de acidificación y oxidación.
- El polvo propicia la acción de agentes biológicos, ya que una película de polvo mantendrá un nivel de humedad más alto en la superficie de la obra, lo que puede provocar el crecimiento de hongos y favorecer reacciones ácidas que deterioran a los documentos. Asimismo, facilita reacciones químicas, debido a los radicales ácidos y los iones metálicos que contiene y puede generar abrasión²⁰.
- Las partículas sólidas, como los óxidos de hierro, el sulfato de aluminio, la sílice, los carbonatos de magnesio, los fragmentos de fibras y el cloruro de sodio (en zonas costeras), son penetrantes y tienen acciones múltiples que producen deterioro²¹.

Iluminación

Es un elemento indispensable para la consulta y exhibición de los documentos. Los mecanismos y efectos relacionados con este factor se tratan en el capítulo 2.

Biológicos

Se relacionan con seres vivos: hongos, bacterias, insectos y pequeños mamíferos.

Los cambios indeseables en las propiedades de un material, causados por la actividad vital de algunos organismos, reciben el término "biodeterioro"²².

¹⁹ Rodríguez, p.141.

²⁰ Morrow, p.15-16.

²¹ Rodríguez, p.142.

En general, el papel es atacado debido a que contiene nutrientes que las plagas requieren para su desarrollo y reproducción

Estos organismos comienzan por afectar la estética del documento, y pueden culminar con la desaparición parcial o total de las piezas, a partir de la degradación del papel al romperlo, comerlo o por las reacciones que generan sus deposiciones.

Los hongos producen manchas circulares o irregulares en la superficie que pueden ser permanentes. La presencia de bacterias inicia como manchas amarillentas aisladas y discretas, que después se extienden como pardas, rojas, negras o azuladas. Se alimentan del sustrato, debilitándolo. La mayoría se desarrolla con humedad relativa mayor a 65%. Las bacterias que atacan la celulosa son, en su mayoría, aerobias²³.

Hay una gran variedad de insectos que pueden alterar los documentos, tanto aquellos xilófagos (que se alimentan de papel) como otros cuyas excreciones alteran el equilibrio químico de la pieza. Comúnmente, estos organismos van generando pérdidas del material que parecen roturas irregulares, o al hacer perforaciones. Sus deposiciones generan manchas en la superficie.

Los roedores utilizan el papel como un material de construcción para sus nidos y como alimento, arrancando pequeños trozos. Sus orines y heces producen manchas y acidez al sustrato.

Humanos

A grandes rasgos, se refiere a la manipulación inadecuada: mala limpieza y ventilación de los depósitos, enmarcados ácidos, reparaciones caseras, uso de cintas adhesivas, manipulación incorrecta.

Lo más común es la falta de delicadeza en el manejo, que a menudo produce desgarros, roturas e incluso pérdida del soporte, particularmente en las zonas cercanas al perímetro.

Las piezas de gran formato son más propensas a este tipo de daño.

Capítulo 2. La luz como factor en el deterioro de documentos

²² Goren, p.99.

²³ Rodríguez, p.142-143.

A partir del trabajo conjunto con los restauradores que participaron en el proyecto *Cápsulas del Bicentenario*, se observó que la mayor preocupación que mostraban respecto a los agentes de daño para los documentos era en torno a la iluminación.

Esto se debió, en gran medida, a que el resto de los factores de deterioro se encontraban total o suficientemente controlados mediante el encapsulado, y a lo imprescindible que resulta dentro de la exposición.

A pesar de la colocación de filtros y la regulación de los niveles de luz, lo cierto es que no sabían el efecto que tendría sobre su estado de conservación, especialmente por la falta de referencias sobre los efectos de la misma cuando se tienen sistemas anóxicos.

Se puede decir, a grandes rasgos, que su preocupación giraba en torno a los siguientes puntos:

- El papel es un material clasificado como sensible ante el efecto de la luz.
- La acción de la luz puede ser inmediata o paulatina, haciendo que algunas manifestaciones de deterioro escapen a la simple observación, pero acumulándose con el tiempo.
- El deterioro es un proceso irreversible.
- La luz solar y toda fuente de UV deben eliminarse de la exposición por ser las más nocivas, generando: fragilidad, amarillamiento y pérdida, cambio o disminución de las coloraciones.
- Los papeles de menor calidad sufren mayormente sus efectos, pero ningún papel se encuentra exento.

La luz como radiación

El espectro electromagnético, comprende: ondas de radio, ondas radar, microondas, radiación infrarroja, luz visible (al ojo humano), radiación ultravioleta, rayos X, rayos gama y rayos cósmicos.

Aunque propiamente la luz se refiere solo a las longitudes de onda visibles por el ojo humano (380-800 nm)²⁴, existen tres tipos de radiación que afectan los documentos y que pueden estar presentes en su entorno de resguardo: el ultravioleta, la luz visible y el infrarrojo.

Como puede observarse en la figura 5, cada una de estas radiaciones posee una longitud de onda y una energía asociada particular. Las longitudes de onda pequeñas son más potentes; por lo tanto, los rayos UV causan más daño que la radiación infrarroja, causando alteraciones directas en los materiales a nivel molecular, mientras que los infrarrojos aumentan la temperatura del material.

²⁴ Konica Minolta, curso de capacitación para uso de espectrofotómetro, octubre de 2012.

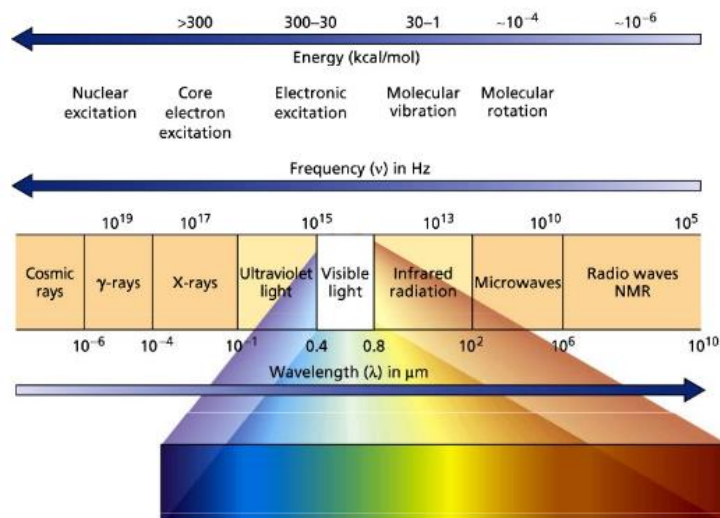


Figura 5. Espectro electromagnético.

La radiación UV puede ser visible, llegando incluso hasta los 400 nm, dando la idea de mayor blancura²⁵; sin embargo, sólo el 5% del UV tiene longitud mayor a 320 nm²⁶.

Deterioro por luz

De entre todos los agentes físicos y químicos que pueden generar deterioro en el papel, esta radiación resulta la más potente²⁷.

Los dos factores importantes que causan el deterioro por efecto de la presencia de luz son: la distribución espectral y la exposición total²⁸.

Distribución espectral

Se refiere a las características de la radiación que, en este caso, incide sobre el documento.

Un tipo de iluminación puede emitir cantidades diferentes de radiación pertenecientes a distintas longitudes de onda. Esto se puede ver en la figura 6, donde se consideran tres fuentes iluminantes: el sol, las lámparas fluorescentes y las lámparas incandescentes.

²⁵ Konica.

²⁶ Rodríguez, p.136.

²⁷ Morrow, p.10.

²⁸ Banks Paul N. y Pilette Roberta, *Preservation: Issues and Planning*, American Library Association, 2000, p.15.

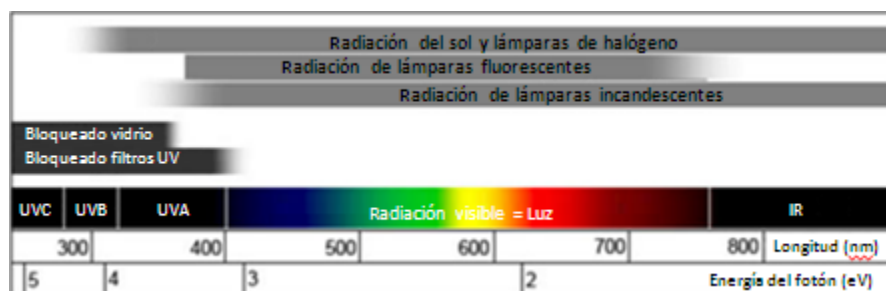


Figura 6. Radiación emitida por diferentes fuentes de iluminación.

Exposición total

La regla de reciprocidad establece que, controlando la exposición a la luz, es posible controlar la magnitud y velocidad del deterioro. Esto se puede hacer a partir del tipo y la cantidad de iluminación; así como mediante el tiempo que el objeto es expuesto a ella.

Este principio, particularmente importante en la exhibición de materiales raros o únicos, se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{“Exposición total= Tiempo x Intensidad.”}^{29}$$

La exposición total a la que un objeto puede someterse, depende de su sensibilidad a la luz; para el caso de documentos se considera, en términos generales, un material altamente sensible.

Existen diferentes criterios para determinar el tiempo máximo de exhibición; entre ellos, los mostrados a continuación.

- Considerando la frecuencia de su exhibición, de acuerdo con la NISO (National Information Standards Organization, de EU):
 - Mostrados repetidamente (una vez cada 2 años): Máximo 12 semanas.
 - Rara vez exhibidos (una vez cada 10 años): No más de 52 semanas.
- En función del daño medido en materiales similares, trabajo de los investigadores Sarah Wagner, Connie McCabe y Barbara Lemmen, quienes determinaron la exposición total anual límite recomendable:

²⁹ Morrow, p.11.

Máximo de 50,000 horas lux.

La unidad lux (lx) “determina la intensidad de iluminación, equivalente a la de una superficie de 1 m² sobre la que incide normalmente un flujo luminoso de 1 lumen”.

Un lumen es la unidad de flujo luminoso, equivalente al que envía una fuente luminosa en la dirección en que la intensidad luminosa sea una candela (cd)³⁰.

A partir de la fórmula para definir la exposición total, y considerando la exposición total anual, se puede determinar la intensidad máxima luminosa permisible para la exposición o el tiempo aceptable de exhibición, asignando alguno de esos valores.

Mecanismos de degradación

La degradación química puede ser iniciada por la presencia de iones, radicales libres o estados excitados de moléculas. Su generación en el polímero depende de las debilidades en la formación de la estructura macromolecular, ocurridas durante la síntesis y producción del papel, por efecto de las impurezas y residuos de catalizadores.

La luz es una forma de energía que, por lo tanto, promueve el deterioro por medio de la activación de reacciones químicas. La energía mínima que una molécula debe recibir para reaccionar se denomina “energía de activación”, es específica de cada material y no reaccionará si ésta no es alcanzada. La excitación ocasionada por la luz provoca la ruptura de los enlaces químicos y genera nuevas sustancias que se vuelven a combinar en una reacción en cadena³¹.

Un ejemplo del proceso de degradación, considerando una macromolécula linear de polímero, se muestra en la figura 7, donde un evento inicial (presencia de luz) produce un centro de reacción (★). El punto de reacción complementario es (-), lo que indica que si uno es catión, el otro es anión. La energía necesaria para romper los enlaces (energía de disociación) en el punto (★) es menor que en los compuestos saturados, y la subsecuente fragmentación ocurre predominantemente ahí³².

³⁰ Goren, p.74.

³¹ Sánchez, p.99.

³² Strlic, p.12.

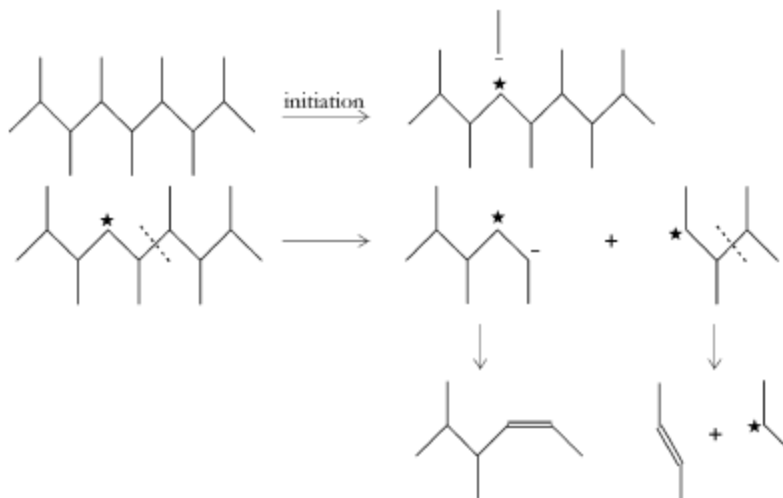


Figura 7. Ejemplo de una vía de degradación para polímero lineal.

Los procesos principales que ocasionan deterioro en los documentos son tres: hidrólisis ácida, oxidación y fotólisis. El primero está relacionado con la presencia de ácidos y agua, por lo que no se tratará su mecanismo de acción; los dos restantes se describen a continuación³³.

Oxidación

Se refiere a la formación de enlaces O-O en la estructura del polímero aunada a un mecanismo de degradación por radicales libres. Tiene como consecuencia la apertura y rotura de las moléculas de glucosa, generalmente por hidrólisis.

El mecanismo general se muestra en la figura 8.

A grandes rasgos, los radicales libres ($P\bullet$) son generados en el proceso de iniciación por efecto de un agente (podría ser infrarrojo, luz, o el mismo oxígeno). En presencia de oxígeno se convierten en radicales peróxido ($PO_2\bullet$) y, posteriormente, en hidroperóxidos (POOH) que llevan a una serie de reacciones en cadena sólo interrumpidas por la presencia de estabilizadores químicos (InH y D).

Aún en condiciones de conservación favorables, el proceso de oxidación puede producir debilitamiento y ruptura de los enlaces de las moléculas del papel.

Las sustancias oxidantes como el oxígeno ambiental, los productos residuales del blanqueo a base de cloro, y compuestos de cobre, hierro o cobalto, son catalizadores que aumentan la velocidad de reacción. Un ejemplo son los pigmentos verdes con contenido de cobre, utilizados para las ilustraciones

³³ Idem.

de manuscritos, que son muy inestables y al oxidarse se tornan oscuros y provocan la degradación de las fibras del papel hasta el punto de que pueden desprenderse³⁴.

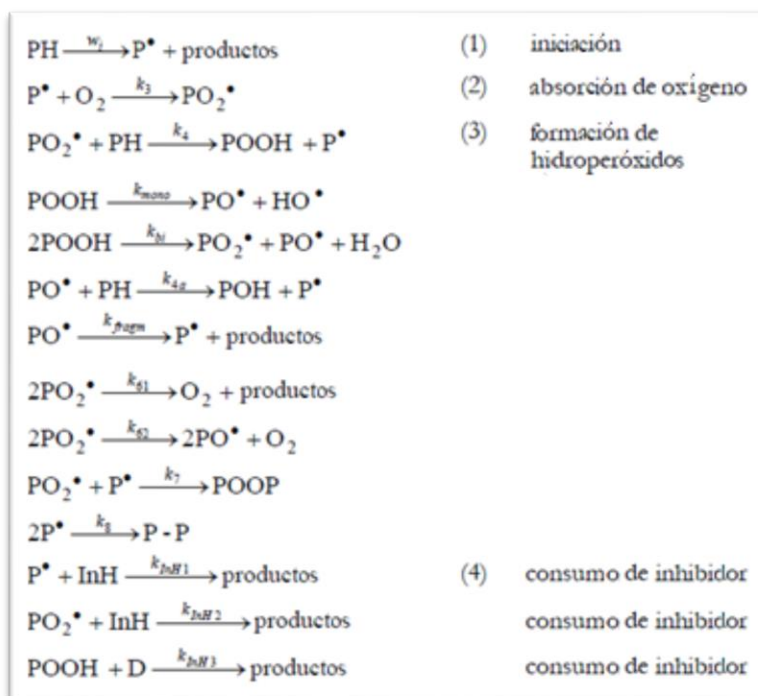


Figura 8. Mecanismo general de degradación por oxidación.

Cuando el fenómeno inicial es la luz, se denomina al proceso fotooxidación. Estas reacciones llevan a la gradual despolimerización de la celulosa, como se muestra en la figura 9, donde los picos marcados indican una disminución en el número promedio de la distribución de la masa molar, a mayor fotodegradación.

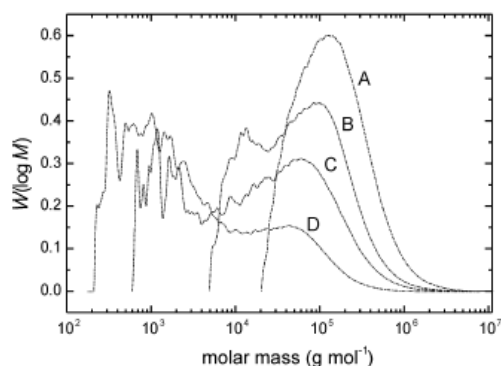


Figura 9. Despolimerización por fotooxidación de celulosa. - Distribución de cantidad de celulosa, irradiada en una unidad de fotoenvejecimiento a 60°C por A-0 h, B-333 h, C-667 h, y D-1430 h.

³⁴ Rodríguez, p.127.

Fotólisis o Absorbancia

Se refiere a la absorción de la luz por una macromolécula, a través de la interacción de fotones con grupos funcionales (denominados cromóforos), que deriva en la ruptura de sus uniones interatómicas.

La molécula que se rompe es aquella que absorbe la luz; la molécula resultante puede combinarse consigo misma o provocar reacciones con moléculas vecinas³⁵.

La mayoría de los componentes del papel son capaces de absorber radiaciones visibles y ultravioleta (figura 10). Los enlaces C-C, C-H, O-H y C-Cl absorben longitudes de onda menores a 200 nm; sin embargo, la presencia de grupos como C=C y C=O hace a sus polímeros sensibles principalmente a longitudes de onda entre los 200 y 400 nm³⁶.

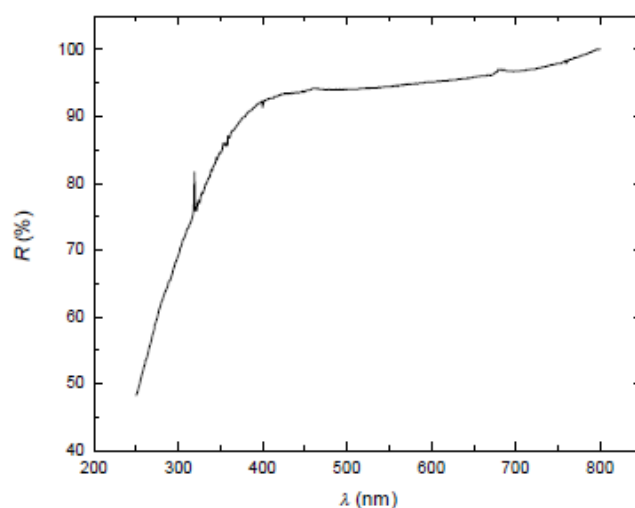


Figura 10. Curva de reflectancia para pulpa de celulosa. - A menor reflectancia es mayor la absorción de radiación con la longitud de onda correspondiente.

Las reacciones que pueden darse como resultado de la reacción de un cromóforo (M) con la absorción de un fotón se muestran a continuación. El asterisco denota un estado electrónicamente excitado; los superíndices 1,2 y 3 indican los estados de la molécula (2 electrones con espines antiparalelos, un electrón y 2 electrones con espines paralelos, respectivamente) y $h\nu$ indica un fotón.

³⁵ Rodríguez, p.126.

³⁶ Strlic, pp.14-15.

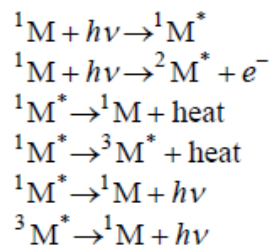


Figura 11. Reacciones generales de cromóforos por absorción de luz.

Las reacciones fotoquímicas provocan la decoloración y degradación del papel. Los productos generados son muy complejos y algunos, en contacto con el calor y la humedad, pueden posteriormente oxidarse e hidrolizarse, haciendo el papel muy frágil y amarillento³⁷.

La presencia de impurezas y aditivos -como lignina, productos de degradación coloreados, colas-, que absorben más eficientemente que el mismo polímero, incrementa la fotólisis³⁸. El efecto depende de la concentración del cromóforo, su espectro de absorción y del límite cuántico -cantidad de energía asociada con la energía de activación- y la reactividad de los radicales que se forman.

Así, la fotoreactividad está determinada por una serie de límites cuánticos, que definen la cantidad de reacciones (ruptura de cadenas) desencadenadas por la absorción de un fotón.

³⁷ Rodríguez, p.128.

³⁸ Idem.

Capítulo 3. Evaluación del desempeño de los sistemas de preservación

Dado que los sistemas de preservación son capaces sólo de retardar el proceso natural de deterioro de los documentos, se puede considerar que mientras más reduzcan los efectos asociados con el mismo mayor resulta su efectividad.

Medir la tasa de envejecimiento de un documento sólo puede efectuarse cuando se compara en distintos momentos al mismo, debido a que la gran variabilidad de sus componentes y de las condiciones del entorno hacen una tarea difícil, por no decir imposible, obtener un marco de referencia exterior objetivo.

Existen diferentes métodos para determinar el estado de un papel. Se trata de exámenes físicos y químicos que permiten, de forma complementaria, tener nociones acerca de sus propiedades y composición. Dichas pruebas pueden ser de tipo destructivo, donde se requiere muestras considerables de papel que sufran alteraciones, o no destructivas (Ver tabla 2).

Pruebas	Tipo
Ensayos físicos	
Resistencia al plegado	Destructivo
Resistencia al desgarro	Destructivo
Resistencia a la tracción	Destructivo
Resistencia al reventamiento	Destructivo
Examen microscópico de fibras	Destructivo/No destructivo
Viscosimetría	Destructivo
Espectroscopía IR	No destructivo
Espectrofotometría-Colorimetría	No destructivo
Ensayos químicos	
Determinación de pH	Destructivo/No destructivo
Índice de alfa celulosa	Destructivo
Determinación de reserva alcalina	Destructivo
Cromatografía	Destructivo

Tabla 2. Métodos para determinación del estado de papel.

Evidentemente, en el campo de la conservación son altamente preferidos los métodos inocuos debido a que no requieren retirar muestras significativas de las piezas, por lo que permiten estudiar directamente los objetos originales.

Puesto que los signos visibles del envejecimiento natural de un documento se dan, inevitablemente, en función de las variaciones que presenta en su coloración, esto hace a la colorimetría y la espectrofotometría métodos razonables para la determinación de dichos cambios.

Antes de explicar en qué consisten, es conveniente tener presentes algunas nociones sobre el color.

Fundamentos del color

Puede definirse desde tres perspectivas diferentes³⁹. Las principales son:

- Color físico

Características de la luz, independientes del espacio y del tiempo, mediante las cuales es posible distinguir entre haces de luz idénticos en tamaño, forma y estructura. Se encuentra en función de la longitud de onda en el espectro visible.

- Color percibido

Interpretación que hace el cerebro (de las señales enviadas por los ojos) sobre la luz reflejada o emitida por un objeto. Es la impresión instantánea percibida por el observador como característica propia de un cuerpo, referida a la manera en que funciona la visión humana y a la forma en que se perciben las sensaciones que genera el color.

Debido a que la vista no es un sentido analítico, los juicios sobre el color carecen de objetividad, haciéndolo dependiente de las características del objeto, la luz incidente, el ambiente circundante, la dirección de la visión, las características del observador, el tiempo de observación y la forma de observación⁴⁰.

Origen del color

El color se genera por fenómenos de absorción y reflectancia (a la que interpretamos directamente como color) (Figura 12). En general, hay reflectancia porque el objeto observado hace “rebotar” las frecuencias de la luz que ya tiene, mientras las demás son absorbidas⁴¹. Así, el origen de los colores se encuentra en las respuestas que presentan los electrones de los materiales ante las diferentes longitudes de onda de la luz.



Figura 12. Absortancia y reflectancia en la generación del color.

³⁹ Gómez, p.32.

⁴⁰ Konica.

⁴¹ Idem.

Cada átomo tiene estados energéticos permitidos; los “estados fundamentales” constituyen los de mínima energía y en los “estados excitados” es gradualmente más elevada. Los electrones se sitúan en orbitales determinados, generalmente por parejas, ocupando los niveles desde los de menor a los de mayor energía, completando primero aquellos que son más estables.

El color proviene de los electrones desapareados, comúnmente exteriores (participantes en los enlaces químicos), que se desplazan de orbital (Figura 13). Al absorber determinadas radiaciones en el espectro visible, se mueven de un nivel a otro más alejado del núcleo, haciendo que los átomos del material pasen a un estado energético superior; la energía de los fotones excitadores debe coincidir exactamente con la diferencia de energía dada entre el estado fundamental y alguno de los estados excitados de la especie absorbente para que esto suceda. Cuando los electrones, en cambio, descienden a un nivel de menor energía se emite una radiación.

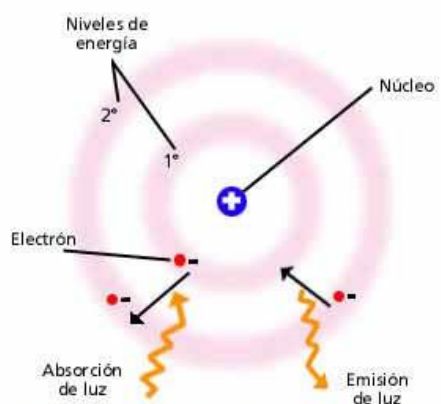


Figura 13. Origen de los fenómenos de absorción y reflectancia.

El color del material depende así de la resultante de las radiaciones, variando para cada elemento (e incluso compuesto) en función del espaciado de los niveles energéticos y de la estructura molecular⁴².

Un cuerpo que refleja más o menos todas las longitudes de onda visibles aparece como blanco al observador, mientras que otro más proclive a reflejar un rango limitado de dicho espectro muestra algunas tonalidades de color.

Para estudiar del color se requiere emplear un sistema que reduzca la subjetividad de la percepción humana. Es aquí donde se emplea una tercera perspectiva⁴³:

⁴² Gómez, p.38.

⁴³ Ibid, p.32.

- Color del objeto

Características cromáticas de la luz reflejada o transmitida por el objeto bajo un iluminante normalizado. Delimita un marco de referencia artificial para la observación del color, a fin de permitir su análisis.

La definición del color, en este caso, requiere contar con las condiciones de medición constantes, entre las que se encuentran: fuente de iluminación, ángulo, dirección (distancia de recorrido óptico), tamaño, fondo, observador y memoria; así como con valores numéricos para expresarlo⁴⁴.

Con el fin de llevar a cabo la especificación y clasificación del color se emplean sus características fundamentales, denominadas “atributos del color”, que son las siguientes:

- Tono o matiz. Está asociado con la longitud de onda dominante reflejada. Es como se percibe el color de un objeto: rojo, anaranjado, verde, azul, etc.

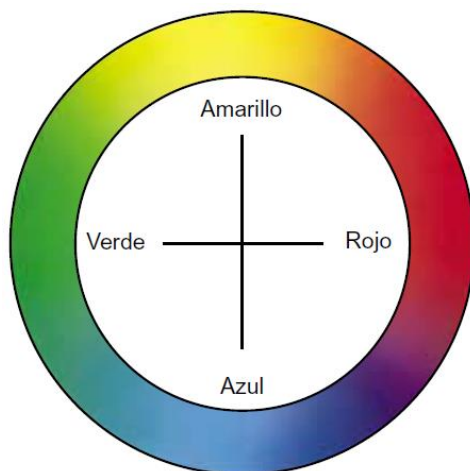


Figura 14. Tono del color.

- Saturación o croma. Describe lo vivo o apagado de un color; en otras palabras, qué tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro.



Figura 15. Saturación del color.

⁴⁴ Konica.

- Luminosidad. Se refiere a la claridad, implicando la noción que percibimos como el reflejo de la luz, indicando si los colores son tenues u oscuros.



Figura 16. Luminosidad del color.

Un elemento que puede alterar la percepción del color es el brillo. Éste se relaciona con la reflexión de la luz en la superficie del objeto observado. Se puede considerar que la reflexión total es la resultante de la suma de dos componentes:

- Reflexión especular. Dada en el mismo ángulo, pero opuesto, de la fuente de la luz. Se refleja como si se tratara de un espejo.
- Reflexión difusa. Luz que no es reflejada especularmente sino dispersada en muchas direcciones.

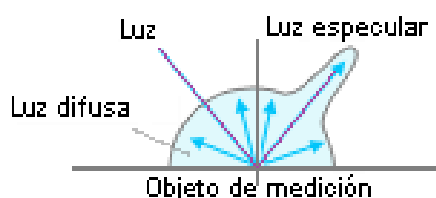


Figura17. Componentes de la luz reflejada por un objeto.

Escalas de medición del color

Existen diferentes esquemas, denominados “espacios de color”, que son métodos para expresar el color de un objeto o de una fuente de luz empleando algún tipo de notación, como pueden ser números⁴⁵. Básicamente, se pueden considerar como un lenguaje con el que un observador puede describir un color sin ambigüedades y en forma única, para distinguirlo de los demás.

De uso común son los creados por la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage -que se traduce como Comisión Internacional de la Iluminación-), que estandarizó sistemas de orden de color especificando las fuentes de luz (iluminantes), el observador y la metodología a fin de encontrar los valores para la descripción del color.

⁴⁵ Comunicación precisa de los colores, www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/06.html.

Dichos espacios de color están fundamentados en la visión humana -en la que los conos perciben colores primarios (rojo, verde y azul), mientras los bastones la luminosidad- y son especificados en forma triestímulo.

Ejemplos de éstos son⁴⁶:

- XYZ y Yxy

Los valores XYZ y el espacio de color Yxy asociado, que conforman la base de los presentes espacios de color de la CIE.

Permite expresar el color sólo en diagramas de dos dimensiones (figura 18), por lo que fueron cediendo lugar a sistemas posteriores, como $L^*a^*b^*$.

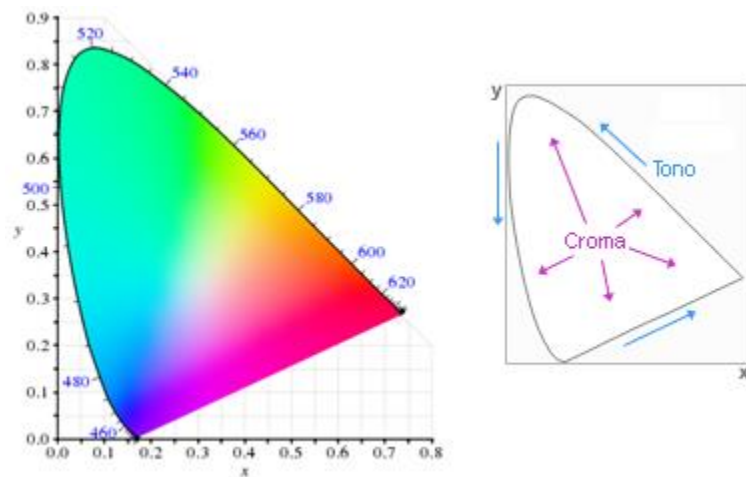


Figura 18. Diagrama bidimensional para la especificación del color.

- $L^*a^*b^*$

Esta organizado en forma de cubo (figura 19), por lo que emplea coordenadas rectangulares, donde a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad y L^* la luminosidad.

Este sistema permite reducir uno de los principales problemas de espacios anteriores, ya que iguales distancias en el diagrama de cromaticidad se corresponden con iguales diferencias de color percibidas.

Los valores de cromaticidad se definen de la siguiente manera: $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección del verde, $+b^*$ es la dirección del amarillo y $-b^*$ es la dirección del azul. El centro

⁴⁶ Konica.

es acromático; a medida que los valores de a^* y b^* aumentan y el punto se separa del centro, la saturación del color se incrementa.

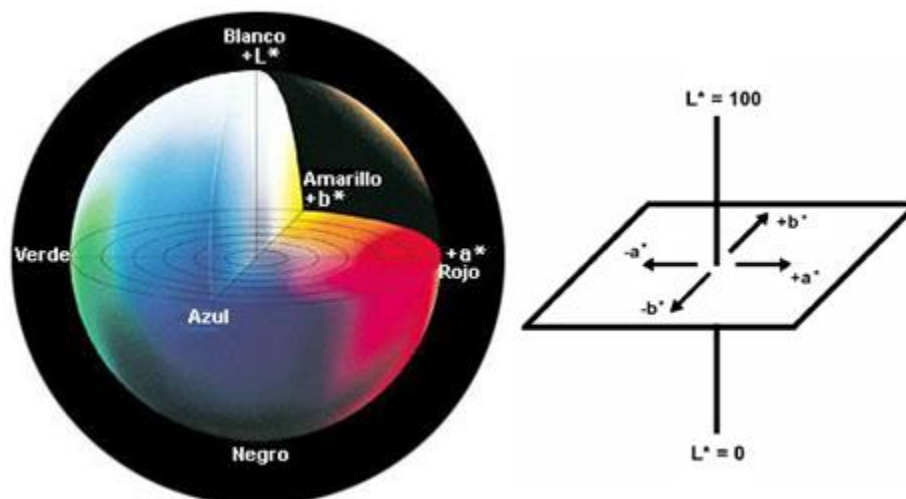


Figura 19. Espacio de color $L^*a^*b^*$.

ΔL^* , Δa^* y Δb^* indican qué tanto difiere una muestra de un valor patrón para cada propiedad. Se obtienen restando el valor de referencia al valor de la muestra.

ΔE^*_{ab} , la diferencia de color estandarizada, es un dato que indica la magnitud de la variación de color dada entre los valores de la muestra y el patrón (figura 20). Se obtiene mediante la expresión:

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

No indica hacia qué coordenada se ha desplazado el color de la muestra.

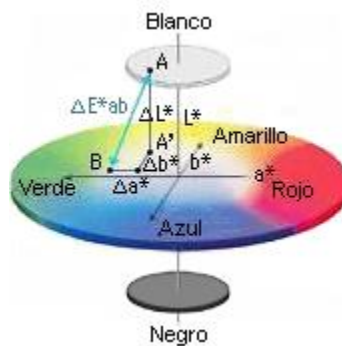


Figura 20. Diferencia de color estandarizada. – En el diagrama: A-referencia, B-muestra, A'-referencia con igual luminosidad que la muestra

- L^*C^*h

Es equivalente al sistema CIE $L^*a^*b^*$, ya que emplea el mismo diagrama, pero utilizando coordenadas cilíndricas.

L^* , que es idéntica a la del espacio $L^*a^*b^*$, corresponde a la luminosidad; C^* indica la saturación, siendo cero en el centro y aumentando de acuerdo con la distancia radial, y h es el ángulo del tono o matiz, que se define comenzando en el eje $+a^*$ y se expresa en grados: 0° en rojo, 90° en amarillo, 180° en verde y 270° en azul (figura 21).

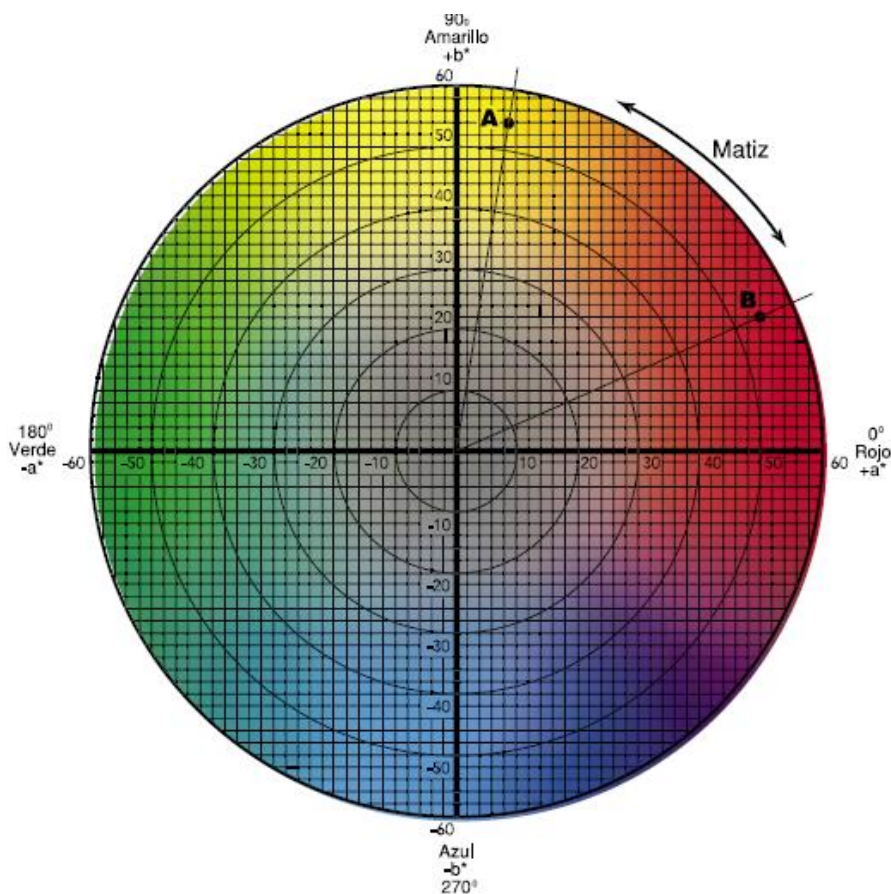


Figura 21. Distribución de C^* y h en el sistema L^*C^*h .

Para hacer conversiones entre este sistema y el $L^*a^*b^*$ se utilizan las fórmulas siguientes⁴⁷:

⁴⁷ Hunterlab, *CIE $L^*a^*b^*$ Color Scale*, Insight on color Vol.8 No.7,2008, www.hunterlab.com/knowledge-library.html.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\Delta H^* = \sqrt{\Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2}}$$

En la figura siguiente se pueden observar los términos más comunes utilizados para describir diferencias dadas en los valores de la saturación y la luminosidad, en términos del espacio L*C*h.

Un ejemplo de comparación del color utilizando las escalas L*a*b* y L*C*h se muestra en el Anexo A.

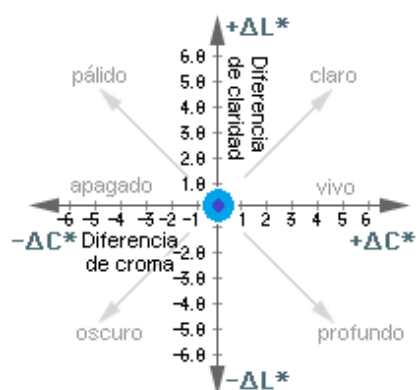


Figura 22. Variaciones de claridad y croma.

Colorimetría y espectrofotometría

La colorimetría se define como la rama de la ciencia del color encargada de especificar numéricamente el color de un estímulo visual físicamente definido⁴⁸. Por otra parte, en la espectrofotometría se busca medir la cantidad relativa de energía electromagnética reflejada o transmitida en longitudes de onda individuales pertenecientes al espectro⁴⁹.

Los colorímetros y espectrofotómetros, instrumentos utilizados para llevar a cabo tales mediciones, siguen procesos similares de operación que; sin embargo, conllevan diferencias importantes tanto en la adquisición de información como en su procesamiento. El principio básico de funcionamiento que, como puede verse, se asemeja al sentido de la vista humana, se presenta en el diagrama a continuación.

⁴⁸ Johnston-Feller Ruth, *Color science in the examination of museum objects: nondestructive procedures*, Getty Conservation Institute Publications, 2001, p.15.

⁴⁹ Ibid, p.5.

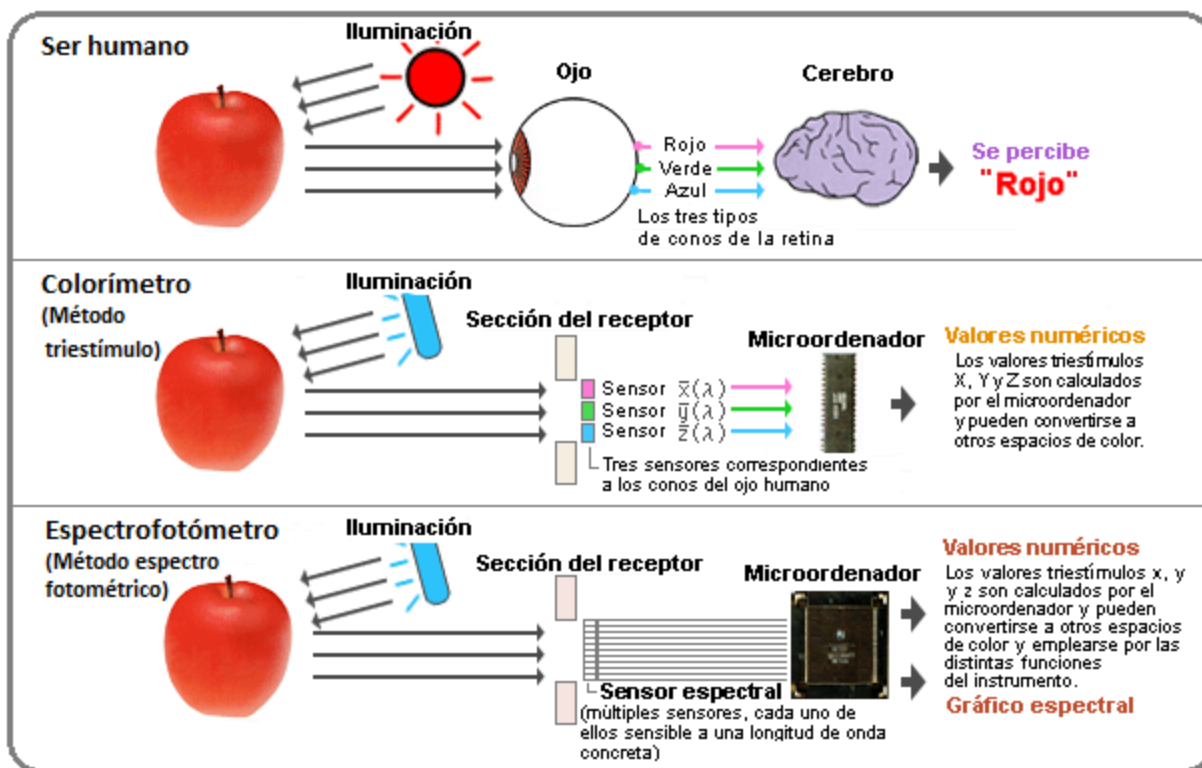


Figura 23. Funcionamiento general del colorímetro y el espectrofotómetro.

Un colorímetro es un instrumento triestímulo (ya que usa tres filtros: rojo, verde y azul) que con el uso de un máximo de dos iluminantes estandarizados diferentes emula la respuesta del ojo humano al color y la luz, proporcionando una medición objetiva del color con respecto a los espacios de colores (no incluye la reflexión difusa)⁵⁰.

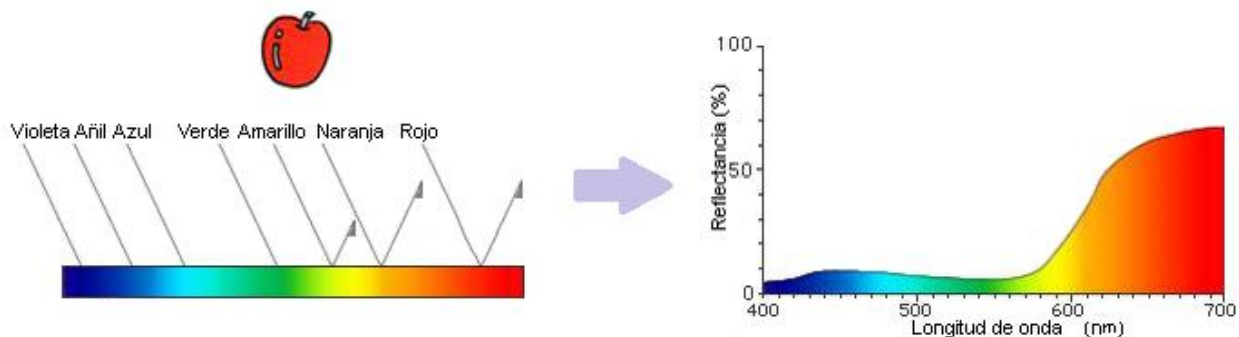


Figura 24. Curva espectral.

⁵⁰ Konica.

El espectrofotómetro permite realizar un análisis más detallado del color al medir la luz reflejada o transmitida en muchos puntos del espectro visible (cada 10 nanómetros) y con más iluminantes, lo que genera, además de la ubicación en las escalas de color, la curva espectral (que al ser única permite identificar, especificar e igualar colores) (figura 24) y mediciones más cercanas a la percepción humana debido a que puede sensor ambas componentes del brillo⁵¹ (tabla 3).

Propiedad/Instrumento	Colorímetro	Espectrofotómetro
Tipo de sensor	Triestímulo	Espectral
Número de iluminantes	2 máximo	10 o más
Permite visualizar	Espacios de colores	Color y respuesta espectral
Tipo de reflexión medida	Especular	Especular y/o difusa
Otros		Metamerismo

Tabla 3. Diferencias entre colorímetro y espectrofotómetro

Algunos de los iluminantes estándar utilizados comúnmente son los siguientes:

- D65 - Luz diurna media
- A - Luz incandescente
- F2, F6 - Luz fluorescente fría
- F7, F8 - Luz fluorescente diurna

“Cuando un instrumento mide una muestra, el ángulo con el cual un haz de luz procedente de una fuente incide sobre la muestra y el ángulo en el cual la luz es recibida por un detector se denominan geometría óptica”⁵². Existen dos tipos de sistema: uno que incluye la luz especular (SCI) y otro que toma sólo la luz difusa (SCE).

- Sistema de iluminación unidireccional.

Proporciona iluminación desde una dirección. Con una geometría de 45/0, la superficie del espécimen es iluminada desde un ángulo de 45 ± 2 grados respecto a la línea normal y la luz se recibe en la dirección normal (0 ± 10 grados).

⁵¹ Idem.

⁵² *Comunicación precisa de los colores*, www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part3/01.html.

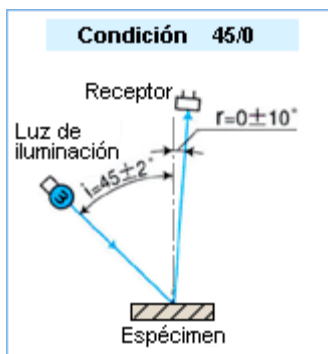


Figura 25. Sistema de iluminación unidireccional 45/0.

- Sistema de esfera integradora de iluminación difusa.

Este sistema emplea una esfera integradora para iluminar un espécimen de modo uniforme desde todas las direcciones (una esfera integradora es un dispositivo esférico con superficies internas recubiertas con un material blanco, como sulfato de bario, para que la luz se difunda). Un instrumento con una geometría óptica d/0 ilumina la muestra de forma difusa y detecta la luz en la dirección normal (0 grados).



Figura 26. Esfera de integración difusa d/0.

Diseño del experimento

Con el fin de evaluar un sistema anóxico de preservación y exhibición de documentos, se planteó una prueba rápida que permitiera comparar la evolución de piezas de papel sujetas a condiciones de exposición en museo.

Se decidió separar en dos bloques probetas de papel, colocando la mitad de ellas en el interior de un contenedor hermético con una atmósfera de argón humectado y manteniendo la otra en aire. Ambos grupos, colocados en el interior de una cámara con iluminación, temperatura y humedad reguladas, serían sometidos simultáneamente a las mismas condiciones, permitiendo hacer contrastes entre sus cambios.

Debido a que se considera a la luz como el principal agente de riesgo, para observar sus efectos se consideró adecuado separar cada bloque de muestras en cinco subgrupos, sujetos a diferentes intensidades de iluminación.

Para dar seguimiento a las modificaciones de las muestras se optó por el uso de un espectrofotómetro, realizando mediciones en tres ocasiones diferentes, a intervalos regulares y en los mismos puntos, con una medición de referencia previa al inicio de la prueba.

En cada ciclo, se planteó llevar a cabo las siguientes actividades generales:

- Limpieza de los contenedores.
- Verificación de los valores de iluminación.
- Colocación de las probetas al interior de los contenedores.
- Preparación de la atmósfera anóxica.
- Exposición de las probetas a la luz.
- Apertura de los contenedores.
- Medición y registro de los valores de las probetas.

Las consideraciones principales que se hicieron para el diseño de la prueba se muestran a continuación.

Condiciones ambientales

- Para mantener las probetas en los rangos recomendados de conservación para la humedad relativa y la temperatura, idealmente estos valores deben presentar baja variabilidad y mantenerse entre los 18 y 22°C, con un 35 a 50% de HR.
- Al interior del contenedor anóxico, se requiere que el oxígeno se encuentre por debajo del 1% para ser aceptable.

Debido a que la prueba se realizaría en temporada de lluvias, para mantener las condiciones arriba mencionadas se estableció el uso de un equipo de aire acondicionado y un deshumidificador, así como de un medidor de oxígeno.

- Debe evitarse la presencia de sustancias que liberen ácidos al interior de la cámara de prueba.

Iluminación

- Se requiere aislar el espacio de la prueba de fuentes de luz externas.
- Las luminarias a emplear son LED con baja emisión de UV.
- Se establecieron cinco condiciones diferentes de iluminación, una de las cuales, a modo de referencia, es de total oscuridad. Para las demás se maneja: valor dentro del rango de conservación, 10 veces el valor en rango de conservación, 30 veces el valor en rango de conservación y 50 veces el valor en rango de conservación.
- La incidencia de radiación ultravioleta sobre las muestras de papel debe evitarse.
- Las luces deben colocarse en la misma posición y con el mismo ángulo en cada ciclo de la prueba.

Probetas

- Para llevar a cabo el experimento, se emplean dos tipos diferentes de papel en cada caso: muestras de papel filtro, con bajo contenido de impurezas y sin pigmentos, y de papel periódico, con alto contenido de lignina y presencia de tintas.
- La medida de las probetas es de 6x8 cm, con una muesca en la parte superior derecha para considerar siempre la misma cara.
- Por condición de iluminación se colocan dos probetas, una de cada tipo de papel, para un total de veinte.
- La manipulación de las probetas se realiza con guantes de algodón para evitar su contaminación, y colocándolas sobre cartulina libre de ácido.

Condiciones de medición

- El registro se basa en la división del área a manera de plano cartesiano, de modo que a cada punto de medición le corresponde una coordenada para su localización. En cada probeta se toman nueve puntos de medición, con una superficie que corresponde al 9.4% del área total de la tira.
- Para realizar las mediciones se utiliza una plantilla de Maylar que señala los puntos a evaluar mediante perforaciones circulares de 1 cm de diámetro.
- El fondo para la medición consiste en cartulina libre de ácido.
- El espectrofotómetro para la toma de medidas es el CM-600d de la empresa Konica Minolta (Anexo B).
- El registro de las coordenadas cromáticas se realiza utilizando los sistemas CIE $L^*a^*b^*$ y CIE $L^*C^*h^*$, con condiciones de campo especular cerrado y abierto -incluyendo reflexión especular (SCI) y difusa (SCE)-, utilizando un observador estandarizado a 10° de visión del campo central, empleando iluminantes D65, A y F6. El área de medición corresponde a una circunferencia de 8 mm de diámetro.
- Previo a cada ciclo de medición se lleva a cabo la calibración del instrumento a un blanco patrón.

Contenedor anóxico

- Consiste en un recipiente rectangular de 50x25x20 cm, con paredes de policarbonato Lexan (figura 27).
- El sellado se realiza mediante el uso de un empaque, que corre a lo largo del borde superior de las caras verticales, sujeto a presión por la acción de doce tornillos, colocados perpendicularmente a la tapa sobre un marco de perfil de acero.
- Cuenta con dos perforaciones roscadas de $\frac{1}{4}$ de pulgada, una a cada extremo, para colocar aditamentos.

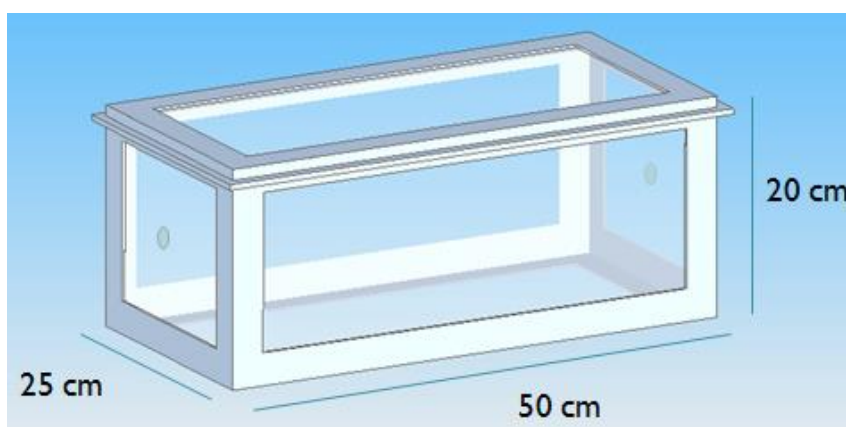


Figura 27. Contenedor hermético para ambiente anóxico.

El aire al interior del contenedor, inicialmente, sería retirado mediante succión para posteriormente ingresar argón humectado; sin embargo, debido a las características del sensor de oxígeno (que requiere recalibración al ser sometido a cambios bruscos de presión) se decidió utilizar llenado por barrido.

Para realizarlo se introduce un flujo continuo de gas, que va arrastrando y desplazando el aire interior a través de una abertura ubicada en el extremo opuesto del contenedor. Una vez que se consiguen las condiciones deseadas, se cierra el sistema.

Ejecución

Las actividades llevadas a cabo durante la etapa de ejecución de la prueba se muestran en el diagrama de la figura 28.

Desarrollo preliminar

El desarrollo preliminar consistió en la preparación de los elementos necesarios para realizar la prueba, y la verificación del funcionamiento de los elementos principales.

- *Pruebas preliminares*

Se realizaron con los elementos principales: el contenedor anóxico y el espectrofotómetro, de manera independiente, como se muestra a continuación.



Figura 28. Actividades realizadas durante la ejecución de la prueba para evaluar encapsulados.

i) Pruebas al contenedor anóxico

Para asegurar el sellado hermético y la efectividad en la salida del aire dentro del dispositivo, se realizaron dos pruebas en las que se colocó un sensor de oxígeno Altair Pro de la marca MSA (Anexo B) en el interior (figura 29a).

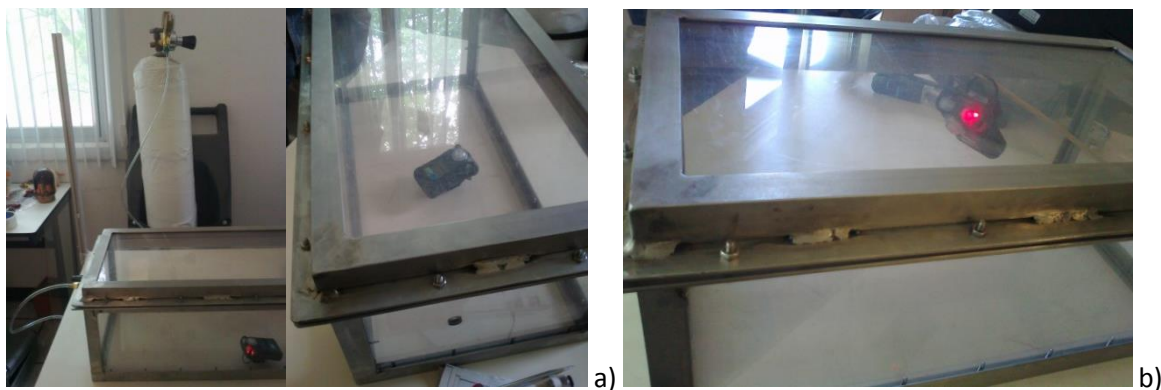


Figura 29. Pruebas realizadas al contenedor.

Haciendo un barrido con argón, se alcanzó como valor mínimo 0.1% de oxígeno en la parte inferior de la caja, transcurrido un minuto, mientras en la superior se registró 0.3% (figura 29b) debido a la diferencia de densidad entre el aire y el gas.

Tras interrumpir el flujo, y con una de las perforaciones laterales del contenedor abierta, se requirieron veintitrés minutos para regresar a un valor de 1% -el máximo aceptable- en la parte superior del contenedor, y seis más para rebasarlo en 0.1%.

Posteriormente, se llevó de nuevo el contenido de oxígeno al mínimo y se cerró abertura del contenedor. Cuarenta y ocho horas después el nivel de oxígeno se mantuvo sin cambios, con lo que se pudo asegurar que el sellado de la caja funcionaba eficazmente.

ii) Pruebas de medición con el espectrofotómetro.

Fueron realizadas dos pruebas, una para determinar la variabilidad en la medición y la otra para conocer si los cambios en la orientación del instrumento, en un mismo punto, pueden provocar modificaciones a los parámetros de medición.

Para observar la diferencia en los datos tomados con el instrumento, inicialmente se tomaron 30 mediciones en el mismo punto de una muestra de papel filtro, con componente especular abierto y cerrado, utilizando el iluminante D65.

Como resultado, se encontró la variación entre mediciones (considerando la diferencia entre los valores máximo y mínimo medidos) que se muestra en la tabla 4. Al calcular el valor promedio de los datos y considerarlo como referencia (figura 30), la máxima magnitud para los valores dL^* , da^* y db^* fue igual a 0.01, mientras para dE^* fue 0.02.

Tipo de Datos	Diferencia L*(D65)	Diferencia a*(D65)	Diferencia b*(D65)
SCI	0.01	0.02	0.03
SCE	0.01	0.02	0.02

Tabla 4. Diferencia entre valores máximos y mínimos medidos en prueba preliminar

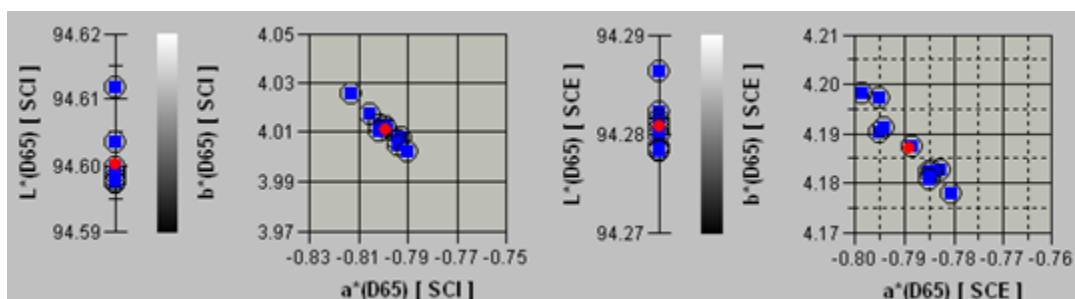


Figura 30. Comportamiento de los datos en la prueba de variabilidad. - Los puntos rojos corresponden al valor promedio.

Partiendo de lo anterior, los datos de cromaticidad con diferencia máxima de 0.03 pueden ser considerados como el mismo valor.

Para determinar la existencia de variaciones con respecto a la orientación del espectrofotómetro, se utilizó una plantilla (figura 31) a la que se coloreó la mitad del área (considerando que el instrumento proporciona un promedio del color de la superficie). Se emplearon marcas para orientar el instrumento a 90° y, posteriormente, a 45°.

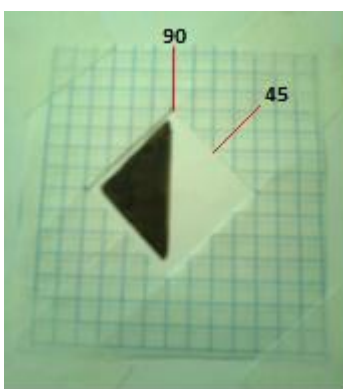


Figura 31. Plantilla utilizada en la prueba con orientación.

Se tomaron cinco mediciones en cada posición, sin mover el instrumento, y se calcularon los valores promedio de las mismas. En la tabla a continuación se presentan dichos datos.

Datos	Grupo	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)
Media	SCI	74.73	1.55	-3.57			
Media	SCE	74.46	1.62	-3.77			
Media b	SCI	76.54	1.1	-2.94	1.81	-0.44	0.63
Media b	SCE	76.24	1.18	-3.14	1.78	-0.44	0.64

Tabla 5. Diferencia entre mediciones con orientación en prueba preliminar.

Considerando lo obtenido en la prueba anterior, se puede decir que sí existe una variación significativa en las mediciones de la luminosidad con el cambio de orientación, lo que puede deberse a la falta de uniformidad en la textura del papel.

- Montaje de la cámara de prueba

Se construyó con una estructura de perfil de aluminio cubierta por una doble pared con separación de 2cm (figura 32a).

Para las paredes interiores se empleó cartulina libre de ácido (Anexo B), unida mediante cinta libre de ácido (Anexo B) en las caras internas y usando cinta para sellar ductos de ventilación en la parte posterior (figura 32b). Se cubrieron las caras laterales, la trasera y la superior; el espacio frontal fue cubierto por piezas removibles.

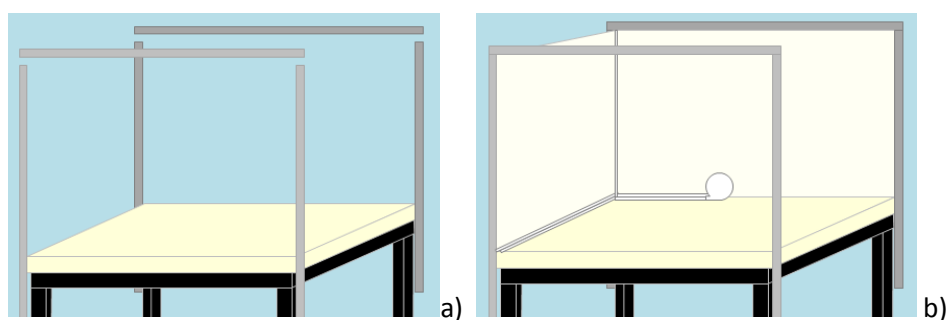


Figura 32. Diagrama de montaje de la cámara de prueba.

En la pared trasera se hicieron perforaciones a la cartulina (figura 33); esto para permitir el flujo proveniente del aire acondicionado y reducir su fuerza. En la parte superior central se recortó un cuadrado con 10 cm de lado para el paso del cableado de las luminarias.

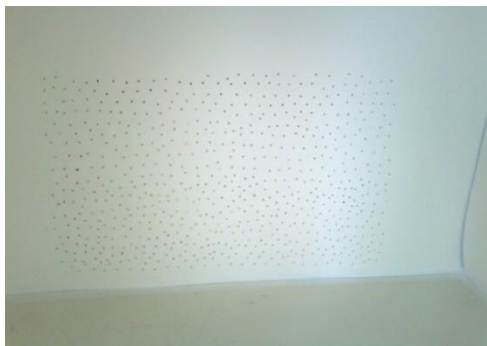


Figura 33. Perforaciones en la pared trasera, vista desde el interior.

El aire acondicionado utilizado modelo PAC C120E, de la marca DeLonghi (figura 34).



Figura 34. Aire acondicionado. - a) Vista frontal. b) Acoplamiento.

Por efecto de la doble pared, parte del flujo frío pasaba a través de la cartulina perforada y el resto circulaba entre las dos capas, ingresando después por los costados de la cara frontal desmontable. El orificio superior funcionó a su vez como chimenea para el aire caliente.

- Construcción de divisiones

Las divisiones para las probetas de papel, cuya función consistió en aislar dichas muestras de la luz lateral incidente, permitiendo generar en el mismo espacio las diferentes condiciones de iluminación, se construyeron utilizando cartulina libre de ácido y cinta adhesiva libre de ácido (figura 35a).

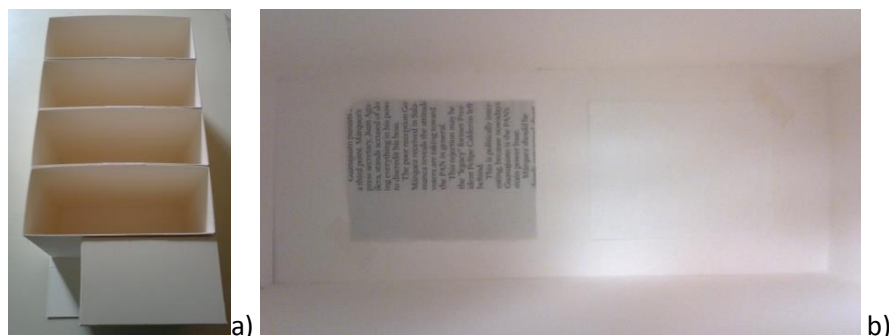


Figura 35. Divisiones para las probetas. – a) Vista superior. b) Ubicación de las probetas dentro de las divisiones.

Las separaciones con iluminación tuvieron, cada una, dimensiones de 24.5 x 9 x 20 cm; para la condición de oscuridad se fabricaron cajas con tapa de 16 x 9 x 19.5 cm. En cada compartimento se colocaron esquineros, hechos con cinta libre de ácido, para marcar la posición de las probetas a 1 cm del centro (figura 35b).

- Instalación de la iluminación

Los focos utilizados fueron LED del modelo P504005-36 (MR16 GU10 6.5W Dim W) de la marca Havells (Anexo B), conectados a dimers para regular la cantidad de iluminación emitida en forma independiente para cada condición de iluminación, como se muestra en la figura a continuación.



Figura 36. Sistema de iluminación.

A fin de mantener la posición de las luminarias, que se estableció en el centro de cada división, y de colocar todas con el mismo ángulo, fueron apoyadas sobre un vidrio -con calidad de exposición en museo- en el que se colocaron marcas (figura 37) y que, al contar con un filtro UV, permitió además evitar por completo la incidencia de dicha radiación sobre las probetas.



Figura 37. Ubicación de luminarias.

El tiempo de exposición se estableció en 96 horas, quedando las cuatro condiciones de luz definidas, con base en la exposición total anual límite recomendable (Capítulo 2), como se muestra en la tabla siguiente.

$$Intensidad = \frac{Exposición\ total\ anual\ límite}{Tiempo} = \frac{50,000\ hr\ lux}{96\ hr} = 521\ lux$$

Condición de iluminación	Intensidad correspondiente [lux]
Límite de conservación (LC)	521
10 veces LC	5,210
30 veces LC	15,630
50 veces LC	26,050

Tabla 6. Valores de iluminación

Una vez definidos los valores para la intensidad de la luz, se utilizó el medidor de luxes para ajustar la iluminación de los focos. Las condiciones de luz se ubicaron de forma incremental en las divisiones para las probetas.

- Corte de probetas

Las muestras de papel, de 6 x 8 cm (figura 38), se cortaron utilizando una plantilla, buscando que la alineación de las fibras fuera igual para las probetas del mismo tipo.

En el caso del periódico, todas las probetas fueron extraídas del mismo ejemplar y se procuró que las tiras usadas para aire y argón, por condición de iluminación, tuvieran características de impresión similares y provinieran de la misma hoja.

Las demás muestras fueron obtenidas a partir de papel filtro del número 6, todas del mismo paquete.



Figura 38. Probetas.

Se fabricaron sobres en cartulina libre de ácido para clasificar y cubrir a las probetas de la luz durante la preparación de la prueba y mientras se realizaban las mediciones.

- Medición patrón

Se realizó la medición de referencia, posteriormente establecida como patrón, a cada una de las probetas de papel.

Para ello se elaboró una plantilla en Maylar, donde se trazaron la forma de las probetas y las líneas de referencia para las mediciones, y posteriormente se cortaron los círculos para la toma de datos.

En la base de medición del instrumento se colocaron cuatro marcas, ubicadas en 0° , 90° , 180° y 270° , para la alineación del instrumento.

A fin de mantener el mismo fondo en todas las mediciones, la plantilla de Maylar fue fijada con cinta libre de ácido a un tramo de cartulina libre de ácido; las probetas de papel se colocaron entre ambas superficies (figura 39).



Figura 39. Plantilla para toma de datos.

Las condiciones de medición empleadas fueron las siguientes:

- Configuración del instrumento para medición en el sistema CIE L*a*b*.
- Condiciones de campo especular cerrado y abierto (SCI y SCE).
- Observador estandarizado a 10° de visión del campo central.
- Configuración del instrumento para medición empleando iluminantes D65 y A.
- Área de medición de 8 mm de diámetro (correspondiente a la target mask w/plate).
- Promedio automático de 5 mediciones por punto.

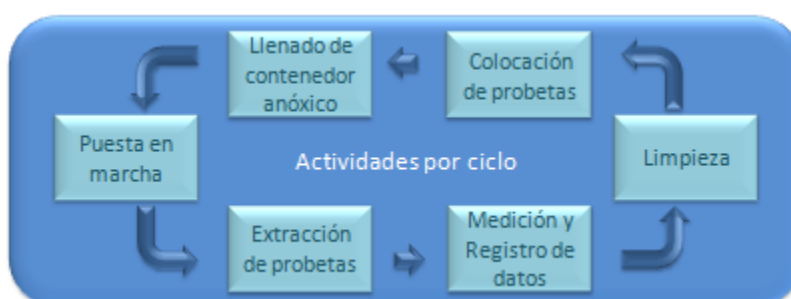


Figura 40. Actividades realizadas por ciclo de medición.

Actividades por ciclo

Se realizaron para la toma de cada una de las mediciones. Las actividades efectuadas en cada etapa para correr la prueba y llevar a cabo la medición de las probetas se muestran en la figura. Los pasos se describen brevemente a continuación.

1. Limpieza

Antes de comenzar el primer ciclo: se retiró el polvo, se realizó una limpieza con agua y limpiador, se hidrató la cartulina libre de ácido con agua de grado inyectable y, finalmente, se aplicó una solución sanitizante (Anexo B). En las ocasiones subsecuentes se omitió el uso del limpiador.



Figura 41. Limpieza de la cámara de prueba.

2. Colocación de probetas

Incluyó la revisión de los valores de iluminación, la ubicación de las probetas al interior de las divisiones de cartulina libre de ácido, la introducción del sensor de oxígeno en el contenedor y el cierre de la caja hermética.

3. Llenado del contenedor anóxico

Se produjo el argón humectado utilizando el sistema por burbujeo empleado con las “Cápsulas del Bicentenario” (figura 42).



Figura 42. Sistema de humectación de argón.

El procedimiento para la salida del aire fue, como en las pruebas preliminares, llenado mediante barrido: se mantuvo un orificio abierto en la caja y se introdujo el gas de modo continuo hasta llevar el contenido de oxígeno a 0.2% (figura 43a). Una vez logrado, se cerró la perforación colocando en ella un manómetro y se introdujo gas para aumentar ligeramente la presión interior ($P=0.5$ [psi], aproximadamente).

En la primer ocasión se introdujo el gas al 65% de humedad relativa (figura 43b), considerando la absorción de agua de la cartulina libre de ácido; posteriormente, se utilizó con 55% HR.



Figura 43. Condiciones de llenado, primera iteración.

4. Puesta en marcha

Consistió en la ubicación de los dispositivos en las marcas correspondientes, el cierre de la cámara de prueba, el encendido tanto de las luminarias como del aire acondicionado y la exposición de las probetas a la luz durante el tiempo establecido (96 hrs).

Se realizaron mediciones para conocer el valor de los parámetros de conservación al interior (figura 44). Al observar el incremento de la temperatura en las horas más calurosas del día, el mayor valor registrado fue 25.4°C; así mismo, fuera de dicho horario, el menor fue 17.8°C. La humedad relativa se mantuvo entre el 34% y el 47%.



Figura 44. Medición de condiciones ambientales.

5. Extracción de probetas

Las probetas se sacaron de los contenedores y se guardaron en los sobres de cartulina libre de ácido.

Antes de abrir el contenedor anóxico se midió la humedad relativa del gas en su interior (figura 46), cuyos valores estuvieron entre el 39.2% y el 44.9%.



Figura 45. Medición de la humedad relativa del contenedor.

6. Medición y registro de datos

Se emplearon los mismos parámetros definidos en la medición patrón y se realizó el registro de los valores, asociando las mediciones a los puntos correspondientes de cada probeta.

Análisis de la información

Una vez que se realizaron las tres mediciones a las muestras de papel, los datos obtenidos fueron analizados y se compararon los resultados que presentaron los dos grupos de probetas.

Los software Spectra Magic NX y Excel se emplearon para auxiliarse en el estudio de la información.

Resultados

Gráficos espectrales promedio obtenidos para los materiales de las probetas se muestran en la figura 47. Las piezas de papel filtro presentaron características iguales en la gráfica, mientras que las de periódico tuvieron una variación despreciable en la pendiente de la curva en la zona entre los 600 y 700 nm.

En ambos casos se observa que las curvas espectrales presentaron reflectancia a lo largo del espectro, con la mayor absorción para las longitudes de onda entre los 400 y 425 nm.

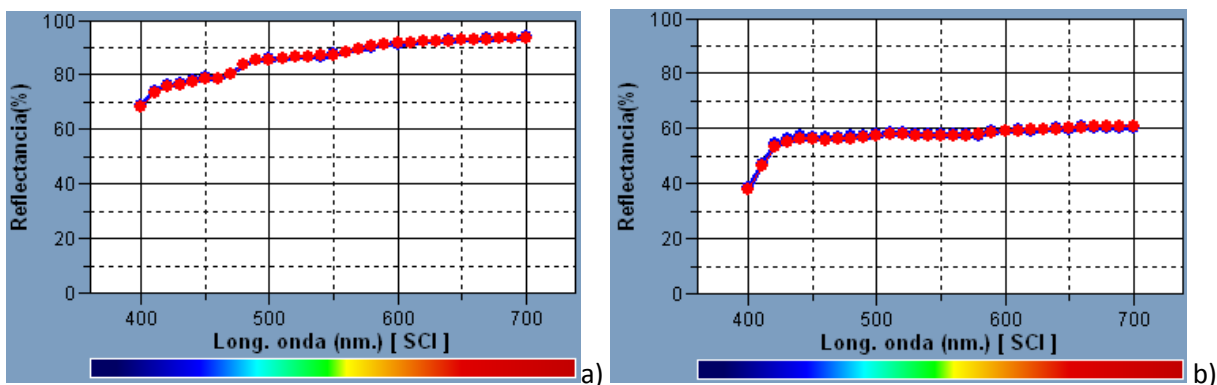


Figura 47. Gráficos espectrales. – a) Papel filtro. b) Papel periódico

En el caso del periódico (b), la línea denota que el color es neutro (gris) con una luminosidad media (55-60%). El filtro (a) tiende a absorber mayormente los violetas y azules oscuros, generando una tonalidad principalmente entre los amarillos y rojos; sin embargo, presenta poca saturación y una luminosidad elevada, tendiendo por lo tanto a un tono neutro blanquecino.

Por otra parte, el gráfico de poder espectral relativo (composición de la luz) correspondiente a las luminarias empleadas presenta dos picos principales, uno a los 450 nm (60%) y el otro alrededor de los 610 nm (100%).

Al cotejar dicho gráfico con la información de las curvas espectrales de las probetas (figura 48), se puede ver la coincidencia entre la zona de mayor absorción para el papel filtro y el pico en la longitud de los azules para la luz. Esto posiblemente implica que las muestras del material podrían ser más susceptibles que el otro grupo de probetas ante la iluminación utilizada, contrario a lo que se esperaría debido a la presencia de tinta y el mayor número de impurezas en el periódico.

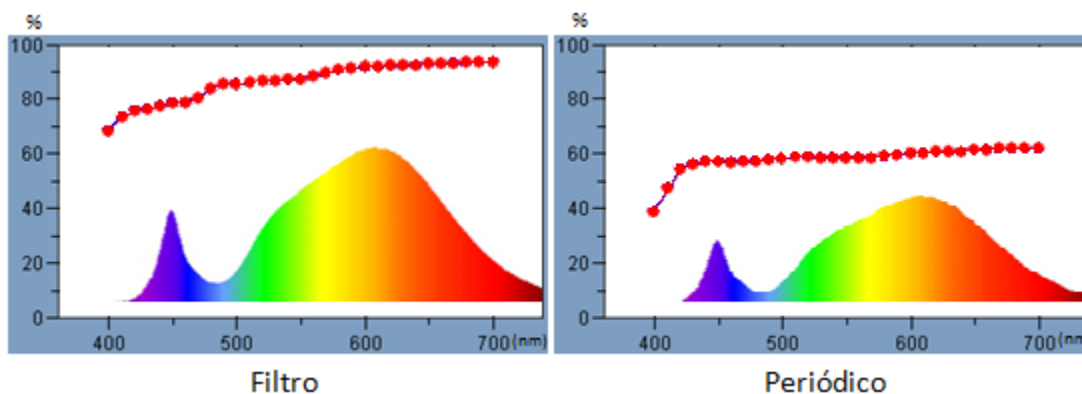


Figura 48. Comparación de gráficos espectrales. – La curva de poder espectral relativo no guarda la proporción en Y.

Para realizar un análisis del comportamiento general de las probetas, se obtuvo la media de sus mediciones colorimétricas en cada ciclo y se evaluaron los resultados.

En la figura a continuación se muestran las magnitudes de cambio ($dEa*b^*$) de las probetas por tipo de material, considerando como valor de referencia la medición inicial.

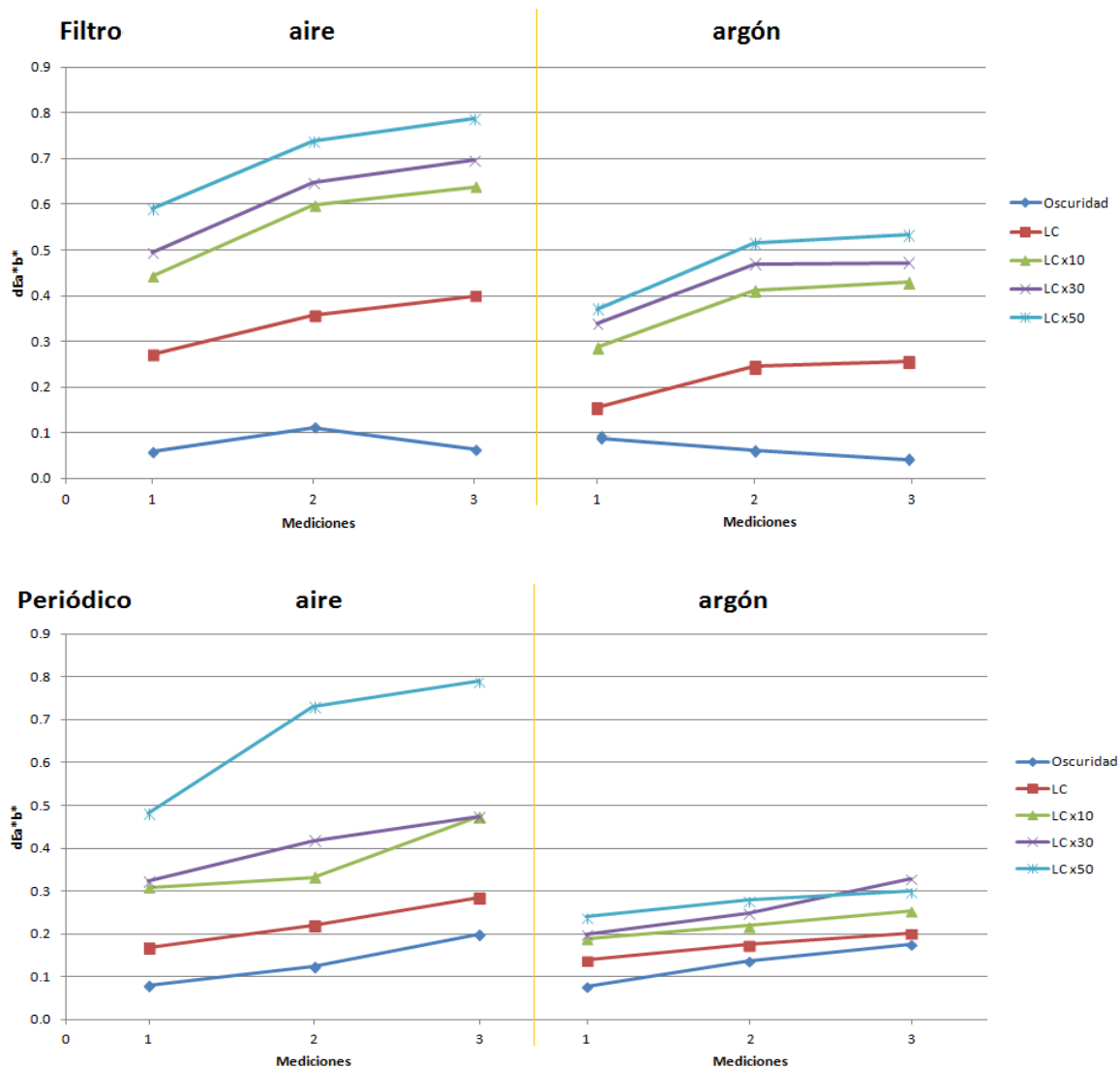


Figura 49. Gráfico de magnitudes de cambio.

Dichas gráficas corroboran la relación lineal de los cambios acontecidos en las muestras de papel -que, en este caso, son originados básicamente por efecto de la luz- con respecto al tiempo transcurrido (fenómeno que se esperaría de acuerdo con la expresión definida para la exposición total anual límite recomendable, explicada en el Capítulo 2).

Asimismo, en general, presentan un incremento en la magnitud de los cambios de coloración asociado al aumento de la cantidad de luz incidente sobre las muestras.

Igualmente, se observa que, aun cuando las pendientes de modificación natural en los materiales resultaron mayores para el periódico que para el papel filtro, los órdenes de magnitud en los cambios de coloración fueron menores para el primero. Esto coincide con lo deducido a partir del análisis del gráfico espectral (figura 48).

En las imágenes anteriores también se evidencia que la magnitud de los cambios en las probetas colocadas en aire fue mayor que la de aquellas introducidas en argón; excepto por las que se mantuvieron en oscuridad, que presentaron valores semejantes. La proporción de disminución para los dos tipos de papel se muestra en la tabla siguiente.

% de reducción de cambio Argón-Aire						
	Filtro			Periódico		
	Menor	Mayor	Promedio	Menor	Mayor	Promedio
LC	31.68	42.21	36.67	17.65	28.77	22.29
x10	31.41	35.34	33.23	34.33	46.32	39.78
x30	27.62	32.22	30.48	30.53	40.48	36.49
x50	30.27	36.91	33.13	50.00	61.98	57.87

Tabla 7. Porcentajes de reducción de cambio. – Proporción de los valores de argón respecto de los de aire.

Se puede decir que, en general, las probetas contenidas en una atmósfera de argón presentan una reducción en los cambios de coloración del orden del 30% con respecto de aquellas expuestas en aire.

Las proporciones en la magnitud de los cambios de coloración, dados entre las muestras de papel que se mantuvieron en oscuridad y las que se expusieron al valor de iluminación correspondiente a la exposición total anual límite recomendable, se muestran en la tabla a continuación.

Proporción LC/Oscuridad						
	Filtro			Periódico		
	Menor	Mayor	Promedio	Menor	Mayor	Promedio
Aire	3.19	6.10	4.63	1.43	2.13	1.77
Argón	1.72	5.90	3.83	1.15	1.79	1.41

Tabla 8. Razones de cambio. – Proporción de los valores máximos recomendables de iluminación respecto de ausencia de luz.

Para las probetas de papel filtro los datos correspondientes a la iluminación en el límite de conservación recomendado fueron de hasta 6 veces el valor para el caso en oscuridad, mientras que en el periódico

esa razón se acercó a un máximo de 2. En ambos casos las probetas contenidas en argón presentaron relaciones LC/Oscuridad menores que aquellas expuestas en aire.

Los cambios observados en las muestras de papel, a partir de la figura 49, no mantuvieron la proporción de los incrementos en las cantidades de luz.

El aumento de la variable $dEa \cdot b^*$ con respecto al de la cantidad de luz, en el caso de las probetas de papel filtro -que poseían características más uniformes entre sí-, presentó un comportamiento similar en cada medición (figura 50a) y se observó que el valor de la pendiente promedio (obtenida tras aplicar regresión lineal a los puntos) coincide tanto para el caso del aire como del argón, siendo igual a 0.011 (figura 50b).

Para el papel periódico, el comportamiento por tipo de atmósfera continuó siendo similar (figura 51a), aunque se observó mayor variabilidad para las muestras de argón; sin embargo, no se apreció relación entre los dos grupos, ya que las pendientes de los puntos promedio fueron 0.008 para el argón y 0.032 para el aire (figura 51b).

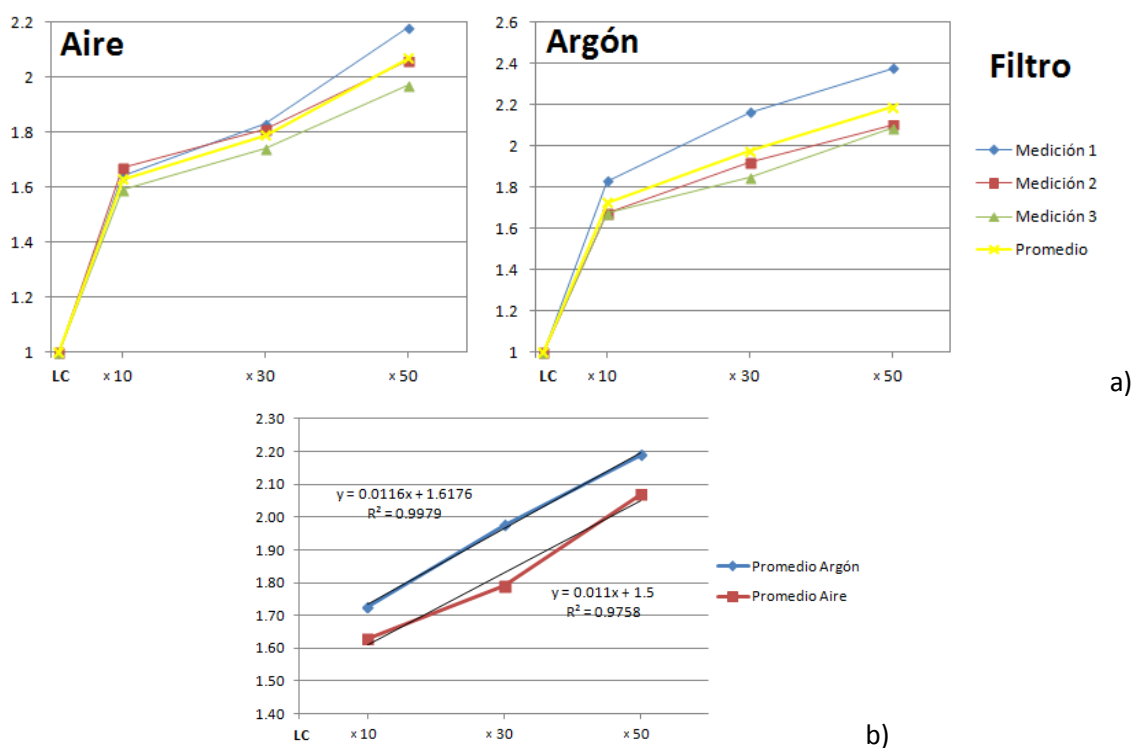


Figura 50. Comportamiento de $dEa \cdot b^*$ con el incremento de luz para papel filtro. – a) Proporción de las cantidades múltiples del máximo recomendable (LC) respecto de dicho valor. b) Comportamiento comparativo de las pendientes promedio de a).

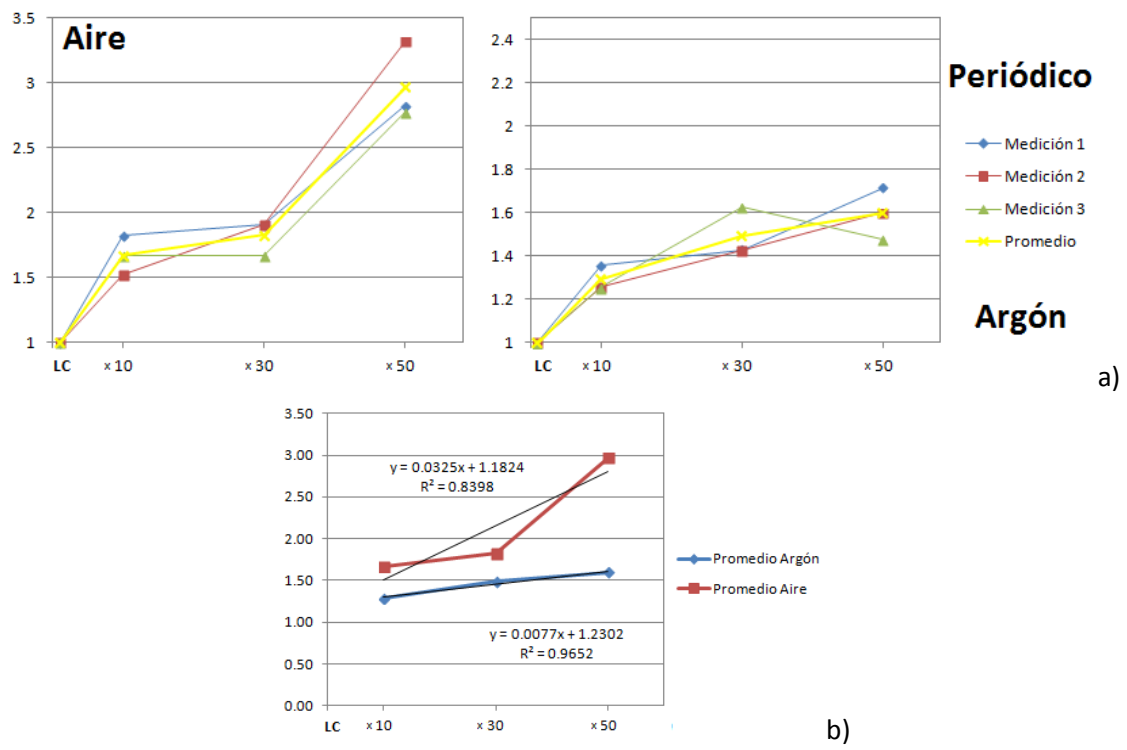
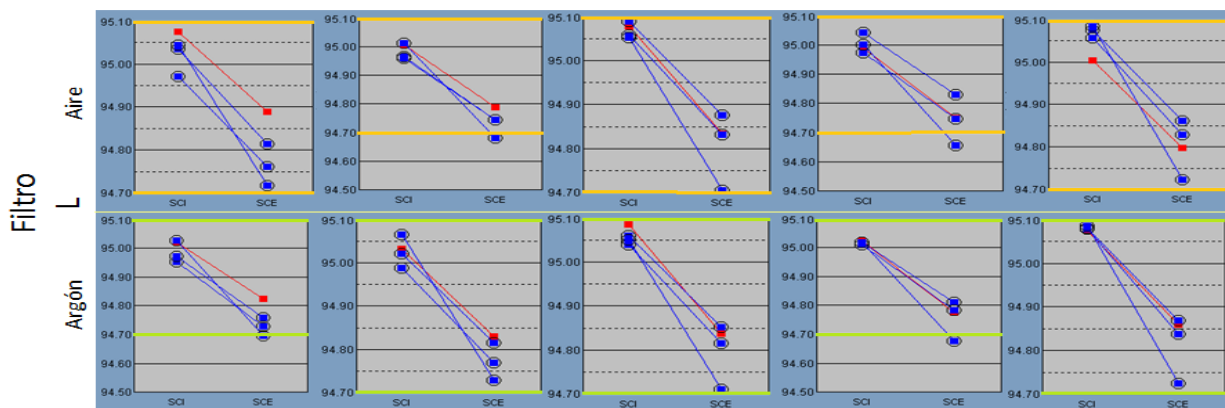


Figura 51. Comportamiento de $dE_{a^*b^*}$ con el incremento de luz para papel filtro. – a) Proporción de las cantidades múltiples del máximo recomendable (LC) respecto de dicho valor. b) Comportamiento comparativo de las pendientes promedio de a^* y b^* .

Las gráficas siguientes permiten observar el comportamiento independiente de las variables L , a^* y b^* , en cada condición de iluminación.

Para las probetas de papel filtro no se observan cambios significativos en la luminosidad, mientras que se presentó un incremento hacia los valores positivos de a^* y hacia los negativos de b^* , implicando cambios del color que tornan el papel más rojizo y menos amarillo, al tiempo que se volvió más pálido por una baja de saturación.



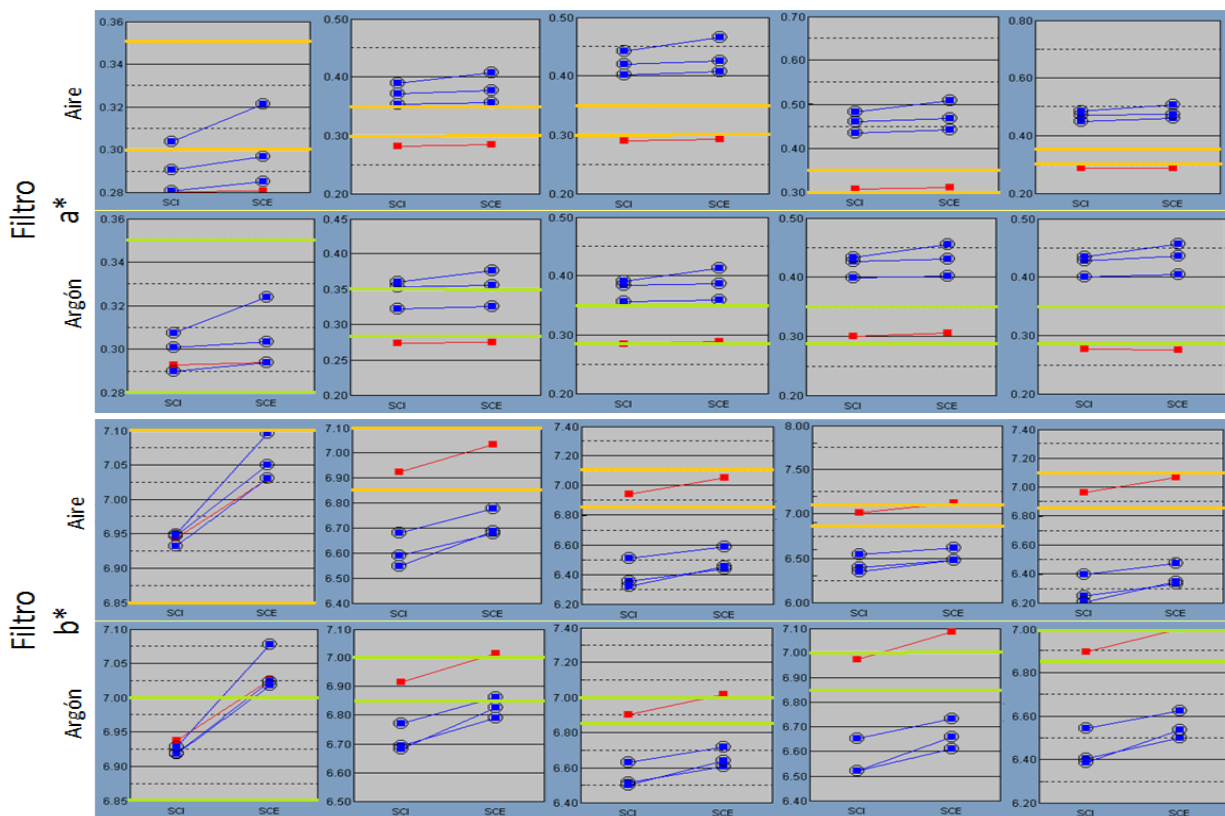
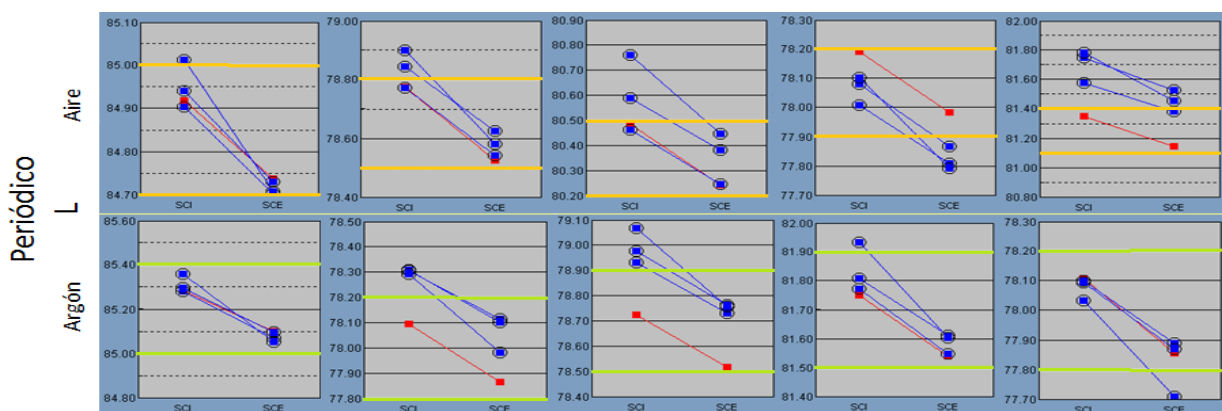


Figura 52. Comportamiento promedio de las variables L, a^* y b^* para papel filtro, por atmósfera. – Las condiciones de iluminación son incrementales de izquierda a derecha y por cada caso se muestran las tres mediciones promedio realizadas. Los espacios definidos por las líneas de color indican un rango fijo de valores de referencia para apreciar los cambios.

Las muestras de papel periódico presentaron un comportamiento con cambios en la luminosidad, tendiendo en general a hacerse más luminosas, sin cambios importantes para a^* y con disminución en los valores de b^* , lo que indica que su color fue menos amarillo y más pálido.



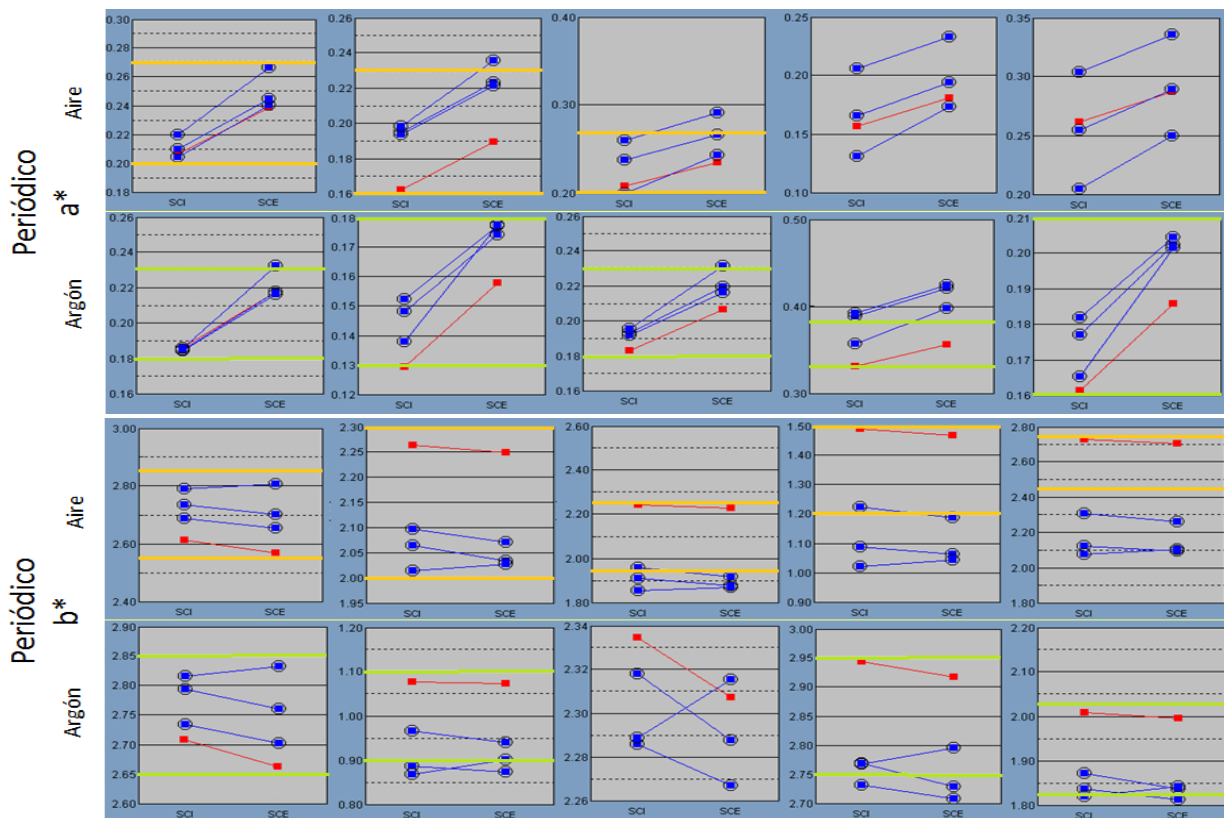


Figura 53. Comportamiento promedio de las variables L^* , a^* y b^* para papel periódico, por atmósfera. – Las condiciones de iluminación son incrementales de izquierda a derecha y por cada caso se muestran las tres mediciones promedio realizadas. Los espacios definidos por las líneas de color indican un rango fijo de valores de referencia para apreciar los cambios.

Al observar el comportamiento punto por punto (figura 54) se encontró que las probetas de papel filtro expuestas a la luz presentaron un nivel ligeramente mayor de cambio en las áreas de medición inferiores, que fueron más cercanas al centro del cono de iluminación.

En las muestras de periódico los cambios no presentaron un patrón y tampoco se asociaron con las zonas de distribución de tinta o con su cantidad.

Finalmente, los cambios de coloración en la totalidad de las probetas fueron imperceptibles para el ojo humano.

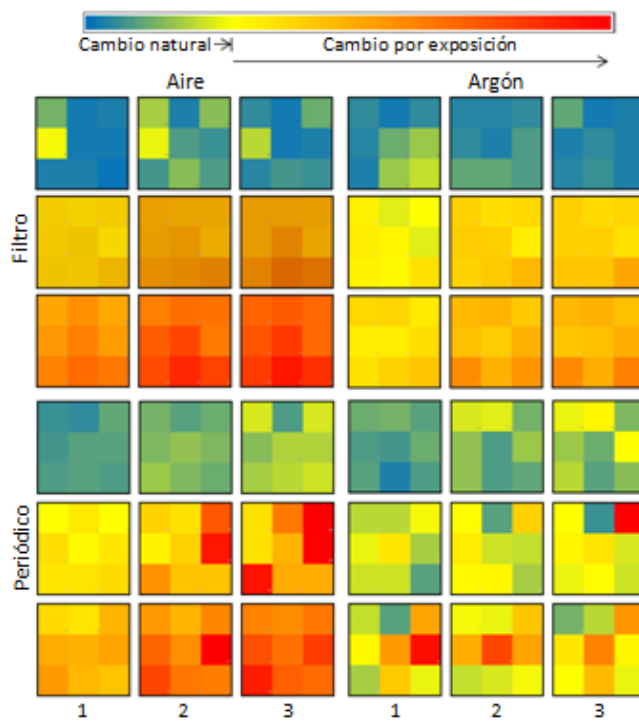


Figura 54. Muestra de comportamiento de dE_{a*b} punto por punto. – Se presentan las condiciones de iluminación: ausencia de luz, 10 veces el límite recomendado (LC) y 50 veces LC, de arriba hacia abajo para las filas correspondientes a cada material.

Capítulo 4. Observaciones sobre los usuarios

Durante la etapa de diseño del sistema para preservación y exhibición de documentos se tomaron en consideración, como eje principal, los aspectos referentes a la conservación sin profundizar en el análisis del usuario, debido al escaso tiempo con que se contó para llevar a cabo el desarrollo.

A partir de su instalación en Palacio Nacional y tras el seguimiento realizado a lo largo de tres años, la perspectiva sobre las personas relacionadas con los encapsulados se fue modificando. Se encontró que existen tres tipos diferentes de usuarios para las “Capsulas del bicentenario” debido a que forman parte, en un modo u otro, de la actividad de los siguientes grupos:

- Responsables de preservación
- Responsables de exhibición
- Asistentes a la exposición

Estos usuarios, a su vez, pueden ser considerados como usuarios finales (involucrados con los objetivos fundamentales del sistema) y usuarios “modificadores” (cuya participación altera la manera en que se lleva a cabo la transmisión de la función a alguno de los usuarios finales) (figura 55).



Figura 55. Usuarios.

Usuarios

A continuación se presenta la descripción de dichos usuarios y las observaciones realizadas durante el seguimiento del proyecto.

Responsables de preservación

En este grupo se integra a los conservadores-restauradores e historiadores del Archivo General de la Nación, encargados del resguardo en la integridad de los documentos, a los que se consultó para el desarrollo de los encapsulados.

Para estos usuarios, la necesidad fundamental que debía cubrir el sistema de encapsulamiento -y que fue la base del diseño- consistió en: preservar el Acta de independencia y Los sentimientos de la Nación durante su exhibición en un periodo ininterrumpido mínimo de un año.

Esto implicaba el cuidado de las condiciones tratadas en el Capítulo 1, particularmente de aquellas que resultaban más difíciles de controlar convencionalmente: la presencia de agentes dañinos del entorno tales como compuestos químicos o microorganismos y el efecto de la luz.

El desempeño de las “Cápsulas del Bicentenario” cumplió satisfactoriamente con este objetivo. El monitoreo continuo corroboró la estabilidad de las condiciones de temperatura y humedad relativa así como de la hermeticidad de los contenedores, por lo que la atmósfera en contacto con los documentos fue inocua.

Complementariamente, el uso del filtro para la radiación ultravioleta en el vidrio de los encapsulados y en las luminarias utilizadas durante la exhibición, así como la regulación de los niveles de luz por parte del equipo (con un máximo de 30 lux, como se muestra en la figura 56), fueron favorables para evitar el deterioro, aun cuando el tiempo de exposición luminosa fue mayor a lo esperado (alrededor de 65,700 hrlux, ya que no se apagaban las luces de la sala).

Esto se constata en el estudio realizado por el equipo de restauración del Archivo General de la Nación, reportado en el documento “Evaluación Colorimétrica del Acta de Independencia: Comparativo entre la primera medición en agosto de 2009 y la segunda medición en octubre de 2011” (Anexo C), donde se manifiesta que el documento presentó una mejoría en las condiciones asociadas a las propiedades morfológicas superficiales y sin presentar alteraciones no naturales en su coloración.



Figura 56. Valores de iluminación en primer periodo de exhibición. - Acta de Independencia.

Al hablar con estos usuarios sobre los encapsulados fabricados expusieron su satisfacción con el desempeño de los sistemas pero, al mismo tiempo, se evidenció lo siguiente:

- A pesar de que les gustaría, el costo de adquisición de los sistemas para preservación y exhibición es inaccesible para que puedan hacer extensivo su uso. Las “Cápsulas del Bicentenario” fueron adquiridas gracias al patrocinio de una entidad de gobierno ajena al AGN.
- El mismo costo de los sistemas no es fácilmente justificable para ser utilizado únicamente por un documento particular, considerando que los encapsulados están elaborados para las medidas del Acta de independencia y Los sentimientos de la Nación, lo que limita su uso para otros textos del acervo documental del archivo.
- El procedimiento para la introducción de documentos en los encapsulados requiere una instalación (cuarto limpio) que el archivo no puede mantener de planta, así como capacitación especializada.
- El volumen de las “Cápsulas del Bicentenario”, particularmente una vez que han sido colocadas en sus cajas de protección, requiere de un espacio considerablemente mayor que el empleado por las cajas donde originalmente los guardaban. Las dimensiones reducidas de las bóvedas del AGN hacen que sea más complicado su almacenaje.
- El peso de los sistemas conlleva ventajas y desventajas inherentes: por un lado, dificulta la sustracción no autorizada pero, al mismo tiempo, hace dificultoso su manejo, ya que se requieren de 2 a 4 personas para moverlos.

Responsables de exhibición

Aquí se incluye a todo el personal involucrado en los aspectos de organización de la exposición como los coordinadores, responsables de la museografía y, en menor medida, personal de soporte técnico del recinto donde se realiza.

Tienen influencia en el desempeño de los sistemas encapsulados desarrollados a través de la modificación en variables relevantes para los otros usuarios. En cuanto a los responsables de preservación, influyen mediante el control de las condiciones ambientales temperatura e iluminación, que son reguladas desde la sala y la vitrina de exhibición; mientras que, en cuanto a los asistentes a exposiciones, determinan la configuración y el ambiente del espacio, así como el tipo y cantidad de información contenida en los materiales de apoyo.

Durante el tiempo que se interactuó con estos usuarios, se tuvieron experiencias como las descritas a continuación.

- Ya que el diseño del espacio para los documentos se hizo sin conocer las dimensiones y requerimientos de los encapsulados, no había como tal un espacio para la colocación del sistema de monitoreo.

Éste debió ubicarse en una zona de difícil acceso en la parte superior de la columna destinada para exhibir los documentos (figura 57) debido a que no podía modificarse la museografía por el grado de avance y el escaso tiempo restante previo a la inauguración.



Figura 57. Instalación del sistema de monitoreo.

- Durante la primer instalación, a los museógrafos les preocupaba que fueran visibles los soportes, no contemplados al diseñar el espacio, porque romperían con la estética de la vista. Éstos añadieron altura adicional a la inicialmente considerada para los documentos y requirieron de hacer perforaciones en el espacio de exposición para poder ser instalados.
- Los responsables de la sala habían considerado colocar los encapsulados de forma completamente vertical, lo que iba en contra del criterio de conservación indicado por los conservadores del Archivo General de la Nación de mantenerlo a un máximo de 30° de inclinación.
- Las dimensiones de la vitrina (en la exposición *“México, 200 años: La patria en construcción”*) para el Acta de independencia fueron apenas suficientes en profundidad para colocar el encapsulado con pendiente de 30°.
- Antes de iniciar el segundo periodo de exhibición, uno de los diseñadores encargados de la museografía expresó que la imagen de los encapsulados era “tosca y poco acorde con el concepto de la exposición”, por lo que colocaron un marco para cubrir los tornillos (figura 58).
- Al principio, tanto restauradores como museógrafos desconocían si debía tenerse algún cuidado especial con los materiales del sistema. En particular, temían dañar el acabado anodizado al limpiar el vidrio con alguna sustancia.



Figura 58. Cubierta colocada a los encapsulados para la segunda exposición. – Acta de Independencia.

Asistentes a exhibición

Este grupo consiste en el público general que visita la exposición.

Los documentos encapsulados fueron colocados en un lugar de honor dentro de las salas y se hizo difusión de su participación como piezas centrales, lo que propició el interés de las personas que acudían a Palacio Nacional.

A partir de la información obtenida durante las visitas realizadas a las salas en los dos ciclos de las muestras y comentarios de personas que asistieron, se encontró lo siguiente:

- La altura a la que quedaron colocados los encapsulados en la primera exhibición no permitía a niños pequeños visualizar su contenido sin ser cargados por un adulto.
- La mayor parte de la gente se acercaba con curiosidad para tratar de leer el texto en los documentos.
- Se encontró, en algunas ocasiones durante la primera exposición, la presencia de un oficial que no permitía acercarse a menos de medio metro de la vitrina. En general eso causaba que las personas fueran incapaces de observar con claridad los documentos.
- El reflejo de las luces, tanto en el vidrio de la vitrina como en el del encapsulado, aunado a la baja iluminación, dificultaba distinguir con claridad la escritura.
- En los medios de comunicación, por equivocación, manifestaron que los vidrios de los sistemas era blindado. El diseño de las “Cápsulas del Bicentenario” lo hacía fácilmente creíble para los visitantes, debido a que transmite una imagen de gran robustez.

Al parecer, esto tiene que ver con: el ancho del marco de aluminio (alrededor de 10% y 18% del valor de la longitud total), el número de tornillos (76 para el Acta de Independencia, 48 para Los sentimientos de la Nación) aunado a su visibilidad y que el color del anodizado es similar al tono verde militar.

- Algunas personas manifestaron que para ellas, el aproximamiento a los documentos durante la primera exhibición no había sido satisfactorio.

Ya que una de las funciones centrales de los sistemas de encapsulamiento consiste en ser un medio que permita la exhibición de los documentos que contienen, idealmente deben ser considerados tanto en su diseño como en la instalación aquellos aspectos que permitan proporcionar al público mejores formas de vinculación con las piezas históricas.

Partiendo de lo anterior, se realizó un estudio que hiciera posible la identificación de las necesidades principales asociadas a los asistentes a exposiciones, haciendo énfasis en aquellas capaces de mejorar su experiencia durante el recorrido en una sala de museo.

Identificación de las necesidades de los visitantes

El estudio fue llevado a cabo en colaboración con estudiantes de la Universidad de California en Berkeley, como parte del curso *Diseño del producto* en el año 2011.

Para realizarlo, se llevaron a cabo las actividades descritas a continuación, de forma simultánea en ambos países. La información obtenida se analizó para definir una jerarquía de necesidades que, posteriormente, fueron traducidas a requerimientos de diseño (figura 59).

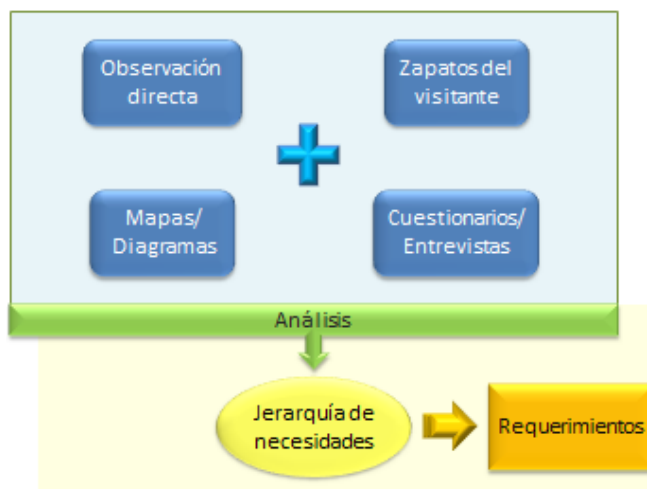


Figura 59. Actividades realizadas para la identificación de necesidades.

Observación directa

El objetivo principal de esta actividad fue identificar el comportamiento de los asistentes a exhibiciones y ver el modo en que interactúan con los elementos museográficos.

En México, se hicieron recorridos en el museo Nacional de Antropología, el museo de las Constituciones, el museo de San Ildefonso y el museo del Policía. En Berkeley, se realizaron observaciones en exposiciones organizadas por la biblioteca de la Universidad de California y, posteriormente, en el museo de Walt Disney.

Se obtuvo información cualitativa, parte de la cual fue registrada mediante fotografías y videos obtenidos con teléfonos celulares (figura 60).



Figura 60. Muestra de fotografías tomadas durante la observación directa.

Algunas de las observaciones generales se describen a continuación. En la tabla 9 se muestran notas particulares.

- Gran parte de los visitantes al interior de los museos fueron identificados como estudiantes o turistas.
- La toma de fotografías parece ser una actividad importante para la gente. Usualmente buscan conseguir los que consideran los mejores ángulos, tomando en ocasiones posiciones incómodas.
- Algunas personas hacen recorridos rápidos, sin poner mucha atención a las piezas e información, lo que contrasta con el comportamiento de las otras.
- Frecuentemente, los visitantes asumen posturas similares a las de las personas que se encontraban en la sala cuando entraron.
- Las posturas cerradas del cuerpo son comunes en los asistentes. La visita al museo parece, por tanto, ser una actividad profundamente reflexiva.
- Cuando las personas observan documentos: la mayoría trata de entender su contenido por un momento y después se retira, pocos son los que sólo miran y se alejan.

<p>Museo Nacional de Antropología</p>	<p>Gran afluencia de gente. Pocas personas mirando los videos. Videos en español con subtítulos en inglés. Música en la sala Maya. Visitas guiadas: español, inglés y francés. Una sola pantalla touch screen. Personas tomando notas. Muchas personas tomando fotografías. Mayoría de los visitantes en grupos. Muchas personas inclinadas para ver más cerca. Personas tocando las piezas (prohibido). Gente con dificultad al traducir cédulas. Personas con audioguías: · Parejas con 2 que no hablaban entre sí · Parejas con sólo 1 · Personas con audioguía individual</p>	<p>San Ildefonso-Esculturas</p>	<p>Exposición saturada de personas. Mayoría de la gente toca el objeto “siente la textura”, a pesar de la larga fila. Personas aburridas esperando entrar. Muchas personas tomando fotografías. Un solo guía en una de las piezas. Personas inclinadas para ver detalles. Muchas personas observando en video “Cómo se hicieron”.</p>
<p>Museo de las Constituciones</p>	<p>Exclusivamente textos y libros en exhibición. Poca gente en la exposición. Confusión sobre el punto de inicio del recorrido. Mucho ruido por los videos (6 pantallas con audio simultáneo). Mayoría de los visitantes lee sólo una parte de la exposición. Un dispositivo para manipular, moviendo cubos con información.</p>	<p>San Ildefonso-Fotografías</p>	<p>Pocas personas en la muestra. Un cuarto con proyecciones en muros y techo. Mayoría de las personas en grupos de 2 o 3. Guardias observando muy de cerca para evitar la toma de videos con cámaras y celular. Instalaciones a modo de espectacular.</p>
<p>Museo del Policía</p>	<p>Uso de mp3 como guías para todos. Sólo visitantes en parejas. Personas mirando atentamente imágenes y escenarios. Algunas personas no leen textos.</p>	<p>Biblioteca Bancroft</p>	<p>Sólo textos y fotografías en exhibición. Exploración individual de la exposición aunque fueran en grupo. Registro de visitantes.</p>

Tabla 9. Muestra de resultados obtenidos durante la observación directa.

➤ Ponerse en los zapatos del visitante

Esto significó asistir a exposiciones y realizar el recorrido como normalmente se haría: leer la información, observar las piezas e interactuar con otros visitantes, pero buscando ser más conscientes sobre los pensamientos y emociones originados durante la visita, prestando mayor atención a las características de los elementos llamativos (figura 61).

Con ello se obtiene información cualitativa y mayor conocimiento de la experiencia subjetiva inducida por los elementos de la muestra.



Figura 61. Muestra de fotografías de visitas del equipo a museos.

Tras llevar a cabo los recorridos, se notó lo siguiente:

- Caminar en los museos es una actividad demandante. Al final de los recorridos, usualmente terminábamos cansados, sedientos y hambrientos.
- La mayoría de las veces, la información proporcionada sobre las piezas exhibidas no es suficiente para comprender su significado, uso o importancia.
- Las pantallas que permiten tocar y presentan cambios de iluminación son particularmente atractivas.
- Las mamparas de los museos algunas veces parecen proporcionar muy poca información con una gran cantidad de texto.
- Resulta incómodo, e incluso intimidante, saber que los guardias observan constantemente.
- En cierto modo, tomar fotografías durante el recorrido da la sensación de obtener algo tanto de los objetos exhibidos como del museo.
- Existe la sensación dentro de los museos de que ciertas reglas deben seguirse, como guardar silencio y mantenerse sereno.
- Algunas de las piezas exhibidas son réplicas, pero solo es evidente prestando atención a los detalles.
- Mirar una réplica no transmite el mismo sentimiento de importancia que ver un original.

Entrevistas

Se realizaron entrevistas semi estructuradas a expertos relacionados con las exposiciones y los documentos, para profundizar en su perspectiva particular.

En México, se conversó con personal del Archivo General de la Nación: el subdirector, el responsable de atención a visitantes y dos restauradores especialistas en la conservación de documentos; además, se entrevistó al director del museo de las Constituciones. En Berkeley, se consultó a un diseñador de las exposiciones del museo de Antropología y a dos archivistas del Archivo de la Universidad de Carolina.

Por otra parte, se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas a 22 visitantes a exposiciones, así como a un guía externo que labora en el museo Nacional de Antropología del D.F.

La información, recabada mediante grabaciones de audio, fue transcrita y resumida. Las opiniones, deseos y emociones fueron agrupados por semejanza y posteriormente procesados utilizando un criterio de frecuencia.

Uso de cuestionarios

Se elaboró un cuestionario online de estructura mixta (respuestas abiertas y cerradas) para conocer: experiencias previas en museos, motivos para asistir a las exposiciones, relaciones con los objetos exhibidos y opiniones sobre la información y los servicios al interior de los museos.

Dicho cuestionario fue distribuido mediante Facebook con el fin de alcanzar un público general, que no sólo integrara visitantes recientes a los museos.

Como resultado, se obtuvo información cuantitativa y cualitativa de un total de 188 cuestionarios. Los datos más relevantes se muestran a continuación.

- Alrededor del 45% de las personas dijeron que visitan museos por placer y para conocer sobre otras culturas.
- Sólo 10% no visitó un museo en el último año.
- 71% consideraba los museos como divertidos. Los principales adjetivos asignados a los museos fueron: interesante y educativo.
- 87% de los visitantes van acompañados.
- 81% recordó haber visto documentos en alguna exposición. Sin embargo, los textos fueron considerados los objetos menos atractivos de las exhibiciones.
- Los medios más populares para recibir información fueron: mirar videos o imagines y tener a alguna persona que lo explique personalmente.

Uso de diagramas y mapas

Estas herramientas fueron empleadas con el fin de visualizar en un mismo lugar la información a procesar, ayudando a agrupar y categorizar los conceptos descubiertos y las ideas emergentes.

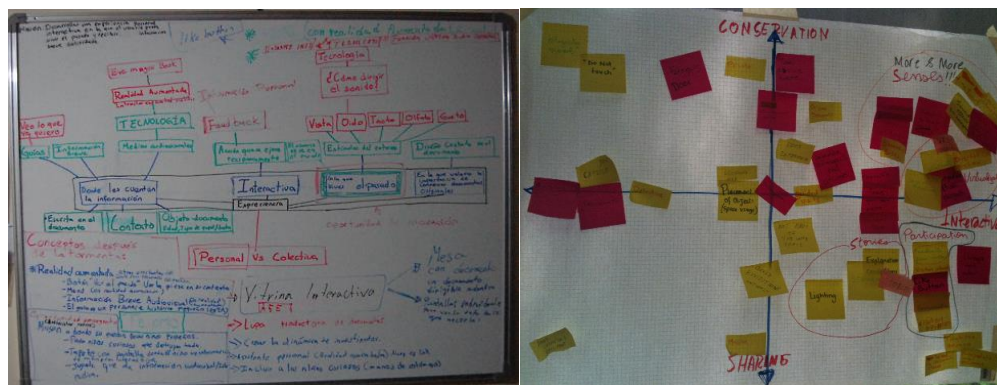


Figura 62. Muestra de mapas y diagramas utilizados.

Jerarquía de necesidades y requerimientos

Tras conjuntar la información obtenida mediante las actividades anteriormente descritas, la jerarquía de necesidades fue establecida en: primarias, secundarias y terciarias, acorde con la importancia que los usuarios manifestaron, como se muestra en el diagrama a continuación.



Figura 63. Jerarquía de necesidades. – Asistentes a exposiciones.

De manera más sintética, se encontró que la mayoría de las necesidades pueden ser agrupadas en tres grandes categorías:

- Tener información narrada- Relacionado con el formato de la información, no con la forma de transmitirla.
- Interactuar- Significa que los visitantes quieren participar en algún modo y explorar por sí mismos.
- Vivir realidades pasadas- Implica tener la sensación de estar en algún otro lugar y tiempo, para experimentar el contexto original de los objetos exhibidos.

Al trasladar la jerarquía de necesidades de la figura 63 a requerimientos, se obtuvo lo siguiente:

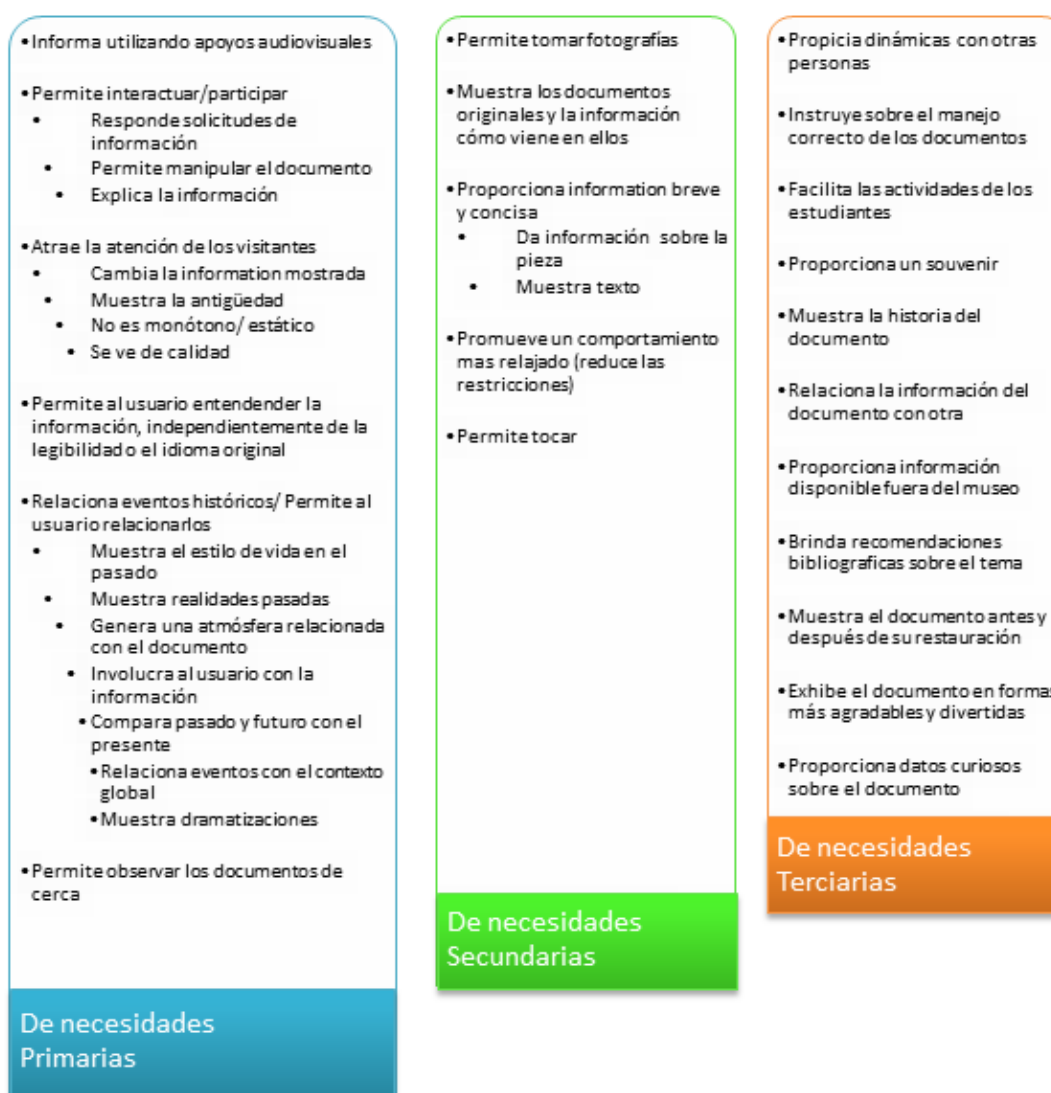


Figura 64. Requerimientos de diseño obtenidos a partir de la jerarquía de necesidades.

Al realizar una lluvia de ideas para llevar a cabo un análisis más profundo de las características de las tres necesidades globales y la forma en que se pueden proporcionar al usuario, se desarrollaron los cuadros siguientes.



Figura 65. Categorías generales de las necesidades halladas.

Resultados

Se realizó una evaluación general de los sistemas “Cápsulas del Bicentenario” considerando las observaciones acerca de las necesidades de los diferentes usuarios (Tabla 10).

Para ello se asignaron calificaciones de 0 a 3, donde 3 fue lo más deseable; posteriormente, se obtuvieron resultados por usuario, dando el mismo peso a cada factor y, finalmente, una valoración general en que se asignó más peso a los elementos asociados con la conservación y la experiencia del visitante.

Característica	Calif.	Evaluación parcial [%]	Evaluación general [%]
Responsables preservación		100	50
Temperatura	1	2.2	1.1
Humedad	2	4.4	2.2
Contaminantes	3	6.7	3.3
Catalizadores químicos	3	6.7	3.3
Acidez	2	4.4	2.2
Microorganismos	3	6.7	3.3
Animales	3	6.7	3.3
Mala manipulación	2	4.4	2.2
UV	3	6.7	3.3
Luz	1	2.2	1.1
Seguimiento de variables	3	6.7	3.3
Costo	1	2.2	1.1
Accesibilidad del procedimiento	2	4.4	2.2
Manipulación	2	4.4	2.2
Revisión del documento	1	2.2	1.1
Total		71.1	35.6
Responsables exhibición		100	10
Espacio	2	13.3	1.3
Instalación encapsulado	2	13.3	1.3
Instalación monitoreo	1	6.7	0.7
Adaptabilidad a concepto de exposición	1	6.7	0.7
Visibilidad del documento	2	13.3	1.3
Total		53.3	5.3
Asistentes a exposición		100	40
Observación del documento	2	16.7	6.7
Información relacionada	0	0	0
Interacción con pieza	1	8.3	3.3
Asociación con contexto original	0	0	0
Total		25.0	10
Total			50.9

Tabla 10. Evaluación de las Cápsulas del Bicentenario respecto a usuarios.

Los aspectos mejor evaluados en los encapsulados fueron aquellos asociados con la preservación (71/100), mientras que los que obtuvieron calificaciones más bajas correspondieron a la experiencia de los visitantes a exhibiciones (25/100).

En términos generales, los sistemas tienen un cumplimiento del 51% considerando las necesidades de los tres tipos de usuario.

Para la mejora de los sistemas, resulta recomendable enfocarse en los siguientes puntos:

- Autonomía para el control de la temperatura.
- Incorporación de un sistema autorregulable de iluminación.
- Disminución del costo.
- Acceso a revisiones adicionales del estado del documento sin necesidad de apertura.
- Reducción de dimensiones para los elementos del sistema de monitoreo de variables críticas.
- Reducción de dimensiones en el espesor del encapsulado.
- Modificación de los soportes de los encapsulados, para hacerlos menos visibles y darles una forma más estética.
- Incorporación de aditamentos que faciliten la interacción del público.

Observaciones generales sobre la interacción en museos

La tendencia actual en los museos gira en torno de los sistemas que permiten la participación del usuario y que, más allá de esto, le proporcionan una respuesta ante sus acciones.

Si bien es cierto que lo primero que viene a la mente en este sentido sean sofisticados sistemas electrónicos, hay una variedad de elementos que brindan a los asistentes la posibilidad de obtener información del entorno y participar en él a partir de acciones simples y métodos básicos de comunicación, como a través de mapas o imágenes, cédulas informativas, al manipular elementos sencillos o mediante la ambientación.



Figura 66. Elementos simples de interacción en museos.

Por ahora son proporcionalmente pocos los museos que han adoptado nuevas tecnologías; sin embargo, no es de sorprender que, a partir de la integración en el día a día de sus desarrollos -dada con la expansión en los patrones de consumo, gracias a la reducción en los costos de adquisición-, para mantener vigencia en el gusto del público los espacios colectivos se transformen para incluir dispositivos y conceptos que les son menos convencionales.

Existe actualmente una gran variedad de instalaciones que pueden ser utilizadas para complementar la estimulación sensorial de los asistentes a muestras museográficas. Algunos ejemplos se muestran a continuación.

- Superficies interactivas

Uso de pantallas táctiles o proyecciones en superficies táctiles opacas que pueden encontrarse en muros, pisos, soportes o mesas.



Figura 67. Ejemplos de superficies interactivas.

- Imágenes en superficies de la sala

Empleo de muros con pantallas planas y proyecciones en muros, techo o piso.



Figura 68. Ejemplos de imágenes en superficies de sala.

- Vitrina con pantalla

Espacios traslúcidos en vitrinas o cédulas que funcionan como pantallas interactivas.

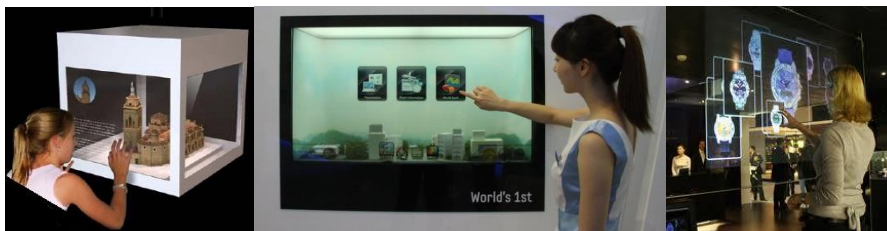


Figura 69. Ejemplos de vitrina con pantallas táctiles.

- Espacios para tocar

Muestras de material similar al original. Se pueden complementar con juegos ópticos que den la impresión de tocar la pieza.



Figura 70. Ejemplo de figura "siente la textura".

- Simuladores

Mediante ambientación del espacio o utilizando plataformas con movimiento, complementando el uso de video.



Figura 71. Ejemplo de simulador.

- Uso del cuerpo como control

A través de tecnología como Kinect, Move o Wii para interactuar con menús de información.



Figura 72. Ejemplos de elementos interactivos manejados por movimiento.

- Realidad aumentada

Dispositivos y aplicaciones que permiten mezclar animaciones virtuales con elementos físicos.



Figura 73. Ejemplos de uso de realidad aumentada.

En el caso de los documentos escritos, los apoyos interactivos pueden ser particularmente favorables para tornar más ameno el acercamiento al objeto y facilitando la comprensión de su relevancia histórica.

Evidentemente, las soluciones más adecuadas dependen de varios factores entre los que se encuentran: la capacidad económica de la institución, el espacio disponible para su uso, la duración de la exhibición y la cantidad de información que se desea transmitir.

Conclusiones

Los factores que afectan la integridad de los materiales documentales elaborados en papel son variados y presentan interrelaciones complejas, en general difíciles de predecir y atenuar debido a la enorme diversidad de materiales y la historia particular de cada pieza.

Los sistemas para la preservación y exhibición de documentos han demostrado ser dispositivos capaces de eliminar o atenuar significativamente el riesgo asociado con buena parte de los agentes generadores de deterioro, incluso durante los periodos de exhibición al público.

El más riesgoso de dichos elementos, debido a que resulta indispensable para el acercamiento con las piezas y es capaz de inducir daño por su sola presencia, es la radiación perteneciente al espectro visible y cercana a él (principalmente ultravioleta).

No es posible aislar los materiales documentales de la luz durante los periodos de muestra, por lo que es inevitable la modificación de las propiedades de los objetos; sin embargo, a partir de los resultados obtenidos mediante la prueba realizada, se puede decir que el uso de encapsulados presenta ventajas en este sentido.

La reducción en los cambios de coloración presentes en las muestras observadas, con valores del orden de 30%, representan una protección valiosa para las piezas contenidas en sistemas de encapsulamiento anóxicos y corroboran los beneficios que se obtienen mediante su utilización.

El costo y particularidades del proceso de inserción para dichos dispositivos no permite que su uso se vuelva extensivo, pero los beneficios que conlleva justifican su adquisición para piezas irremplazables, como es el caso del Acta de Independencia y Los sentimientos de la Nación.

Con el desarrollo de las “Cápsulas del Bicentenario” se cubrieron de forma satisfactoria las necesidades expresadas por los responsables de la preservación, considerando que se trató de un caso particular, con un planteamiento muy específico.

Sin embargo, al llevar a cabo la evaluación que incluye las necesidades obtenidas para estos y otros involucrados mediante un proceso de estudio del usuario, la evaluación general de los encapsulados disminuye considerablemente.

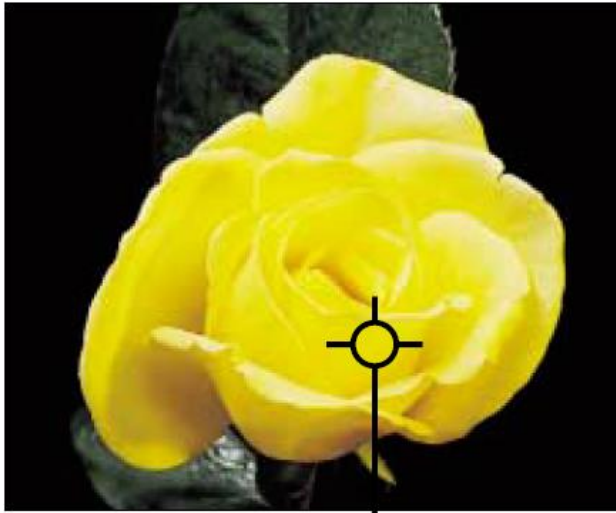
Para el diseño de futuros sistemas de encapsulamiento, es recomendable tomar en consideración la interacción que se lleva a cabo con los asistentes a exposiciones, buscando especialmente facilitar la visibilidad de la pieza e incrementar las posibilidades de interacción.

Lo anterior se debe a la complejidad del objetivo fundamental que los sistemas de encapsulamiento deben cumplir: preservar y mostrar al público, tarea que, por definición, es contradictoria y se lleva a cabo en el interior de un entorno variable y complejo como lo es el museo, que por sí mismo tiene el objetivo de atraer e involucrar a los visitantes.

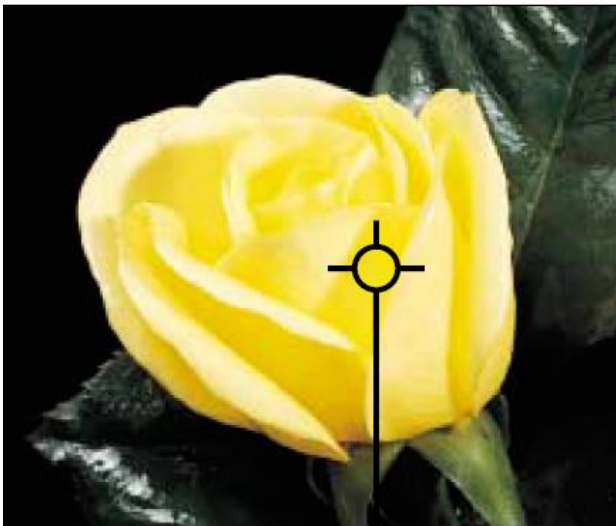
Ciertamente no es una función central de los sistemas para preservación y exhibición, al menos como fueron concebidos en un principio, el convertirse en elementos museográficos sino fusionarse con la pieza que contiene para hacerla objeto de observación, pero su diseño actual se encuentra limitado en cuanto al potencial que presentan para proporcionar un mayor atractivo en torno a su tarea de mostrar.

Si se toma en cuenta la idea de la innovación para el desarrollo de futuros sistemas de este tipo, no está de más la implementación de sistemas adicionales que permitan tornar los encapsulamientos en dispositivos más accesibles, que proporcionen retroalimentación al visitante, acorde con las tendencias de los elementos al interior de los museos.

Anexo A. Ejemplo de comparación de color con sistemas $L^*a^*b^*$ y L^*C^*h .



Flor A: $L^* = 52.99$ $a^* = 8.82$ $b^* = 54.53$



Flor C: $L^*=64.09$ $a^*=2.72$ $b^*=49.28$

Comparemos el color de la Flor A con el de la Flor C mostradas a continuación. De manera individual cada una sería clasificada como una rosa amarilla. Pero ¿cuál sería su relación cuando se colocan una al lado de la otra? ¿Cómo difieren los colores?

Aplicando la ecuación para ΔL^* Δa^* Δb^* la diferencia de color entre la flor A y la flor C puede ser expresada como:

$$\Delta L^* = + 11.10$$

$$\Delta a^* = -6.10$$

$$\Delta b^* = -5.25$$

La diferencia total de color puede ser expresada como $\Delta E^* = 13.71$. Los valores para las flores A y C se muestran en la parte inferior de la página. En el eje a^* una lectura de -6.10 indica más verde o menos rojo. En el eje b^* una lectura de -5.25 indica más azul o menos amarillo. En el plano L^* una diferencia de medición de 11.10 muestra que la flor C es más clara que la flor A.

De la misma manera que se compararon las dos flores usando CIE LCH las diferencias de color se expresarían como:

$$\Delta L^* = + 11.10$$

$$\Delta C^* = -5.88$$

$$\Delta H^\circ = 5.49$$

ΔC^* de -5.88 indica que la flor C es menos cromática, o sea, menos saturada. El valor ΔH° de 5.49 indica que la flor C es más verde en su matiz que la flor A. Los valores de L^* y ΔL^* son idénticos para CIELCH y CIELAB.

Anexo B. Equipo y materiales utilizados.

➤ Espectrofotómetro



Spectrophotometer CM-700d/600d

Illumination/ viewing system	di: 8°, de: 8° (diffused illumination, 8-degree viewing angle), SCI (specular component included)/SCE (specular component excluded) selectable with automatic switching (Conforms to CIE No. 15, ISO 7724/1, DIN5033 Teil7, ASTM E 1164, and JIS Z 8722)
Size of integrating sphere	Φ40mm
Detector	Silicon photodiode array (dual 36-element)
Spectral separation device	Diffraction grating
Wavelength range	400 nm to 700 nm
Wavelength pitch	10 nm
Half bandwidth	Approx. 10 nm
Reflectance range	0 to 175%, Display resolution: 0.01%
Light source	Pulsed xenon lamp (with UV cut filter)
Measurement time	Approx. 1 second
Minimum measurement interval	Approx. 2 second (in SCI or SCE mode)
Battery performance	With alkaline dry batteries: Approx. 2,000 measurements With nickel-metal-hydride rechargeable batteries (2300 mAh): Approx. 2,000 measurements with full charge * Stand-alone continuous measurement fixed to either SCI or SCE mode at 10-second intervals at 23°C
Measurement/ illumination area	MAV: Φ8 mm/Φ11 mm only
Repeatability	Spectral reflectance: Standard deviation within 0.1%, Chromaticity value: Standard deviation within ΔE^*ab 0.04 * When a white calibration plate is measured 30 times at 10-second intervals after white calibration
Inter-instrument agreement	Within ΔE^*ab 0.2 (MAV/SCI) * Based on 12 BCRA Series II color tiles compared to values measured with a master body at 23°C
No. of averaging measurements	1 to 10 (Auto averaging), 1 to 30 (Manual averaging)
Display	2.36-inch TFT color LCD
Interfaces	USB1.1; Bluetooth® standard version 1.2*
Observer	2° observer or 10° observer
Illuminant	A, C, D50, D65, F2, F6, F7, F8, F10, F11, F12 (Simultaneous evaluation with two light sources possible)
Displayed data	Spectral values/graph, colorimetric values, color difference values/graph, PASS/FAIL result, pseudocolor, color assessment
Color spaces	L*a*b*, L*C*h, Hunter Lab, Yxy, XYZ, Munsell, and color difference in these spaces (except for Munsell)
Colorimetric data	MI, WI(ASTM E313-73/E313-96), YI(ASTM E313-73/ASTM D1925), ISO Brightness, 8°gloss value Color difference formulas ΔE^*ab (CIE1976), ΔE^*94 (CIE1994), $\Delta E00$ (CIE 2000), CMC (l: c)

➤ Sensor de oxígeno

MSA Altair Pro

Características Físicas

Tamaño	El instrumento no excede los 8.6 cm x 5.08 cm x 2.5 cm en su tamaño total
Peso	113 gramos incluyendo clip
Manejo	La unidad es fácil de sostener y operar
Material de la carcasa	Policarbonato con hule sobremoldeado
Protección ambiental	El instrumento tiene un rango IP67 de protección contra ingreso de polvo y agua. Rango de IP54 para la versión de O ₂ -R
Ubicación de pantalla	La pantalla se puede ver desde el frente

Tipos de sensor

El instrumento está disponible para el monitoreo de los siguientes gases

Tipo de Gas	Tipo de Sensor	Rango	Resolución
Oxígeno	electroquímico	0-25%	0.1 Vol. %
Monóxido de Carbono	electroquímico	0-1500 ppm	1 ppm
Ácido Sulfhídrico	electroquímico	0-200 ppm	1 ppm
CO FIRE	electroquímico	0-1500 ppm	1 ppm
CO STEEL	electroquímico	0-1500 ppm	1 ppm
Cianuro de Hidrógeno	electroquímico	0-30 ppm	0.5 ppm
Cloro	electroquímico	0-20 ppm	0.1 ppm
Dióxido de Cloro	electroquímico	0-1.00 ppm	0.02 ppm
Dióxido de Azufre	electroquímico	0-20 ppm	0.1 ppm
Dióxido de Nitrógeno	electroquímico	0-20 ppm	0.1 ppm
Amoniaco	electroquímico	0-100 ppm	1 ppm
Fosfina	electroquímico	0-5.00 ppm	0.05 ppm
Oxígeno remoto (O ₂ -R)	electroquímico	0-25%	0.1 Vol. %



Certificación

Aprobación de Seguridad Intrínseca	El detector cumple con las aprobaciones globales para: - ULC Clase 1, División 1, Grupos A, B, C y D código T4 - CSA Clase 1, División 1, Grupos A, B, C y D código T4 - ATEX II 2G EEx ia IIC T4 - Australia Ex ia IIC T4
Sistema de calidad	El fabricante del instrumento está certificado para cumplir con lo previsto por ISO 9001
Fabricación	Instrumento fabricado en USA

Ambiental

Temperatura	Operación normal: -20 a 50° C
Humedad	10-95% RH sin condensación

- Cartulina libre de ácido



Cartulina Perma-Dur® Buffered Bristol

Libre de ácido y lignina, cuenta con una reserva alcalina de carbonato de calcio. Es ideal para fabricación de guardas para materiales gráficos y fotográficos.

- Cinta libre de ácido



Cinta de lino autoadherible para montaje de museo Lineco®

Fabricada con materiales y adhesivos libres de ácido, gran resistencia, ideal para hacer chamelas y para unir la marialuisa al respaldo.

- Sanitizante



Citrodex® Sanitizante para áreas de trabajo, equipos y superficies.

Con amplio espectro fungicida y bactericida. Resulta muy útil para la desinfección de instalaciones, muros, pisos, mesas y superficies de trabajo, estanterías, ducto de aire, etc. **No corrosivo.** Se diluye en agua al 2% y se aplica con trapo o trapeador.

- Luminarias



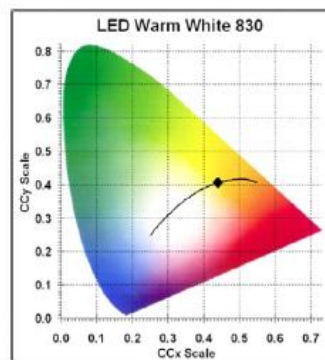
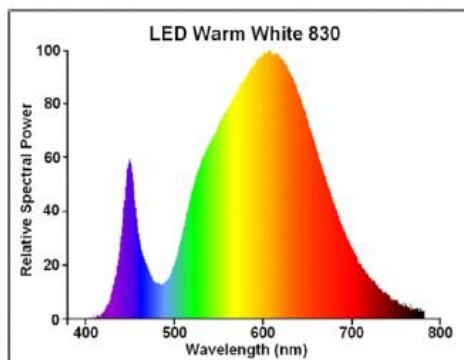
MR16 GU10 LED



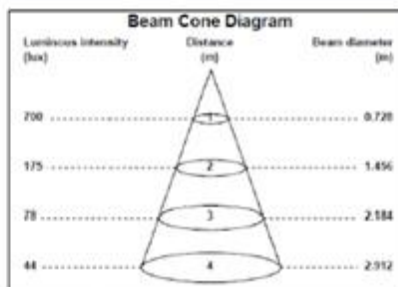
Información Técnica

Descripción comercial	MR16 GU10 6.5W Dim W
Código	P504005-36
Características	
Bulbo	MR16
Base	GU10
Acabado	Blanco
Protección	IP20
Parámetros Eléctricos	
Tensión de operación [V]	120
Potencia [W]	6.5
Corriente en la lámpara [mA]	90
Frecuencia de alimentación [Hz]	50-60
Factor de potencia [p.u.]	0.6
Parámetros Fotométricos	
Ángulo de apertura [°]	40
Intensidad luminosa [lm]	700
Flujo luminoso - Nominal	350
Flujo luminoso - Cono a 90°	300
Eficacia luminosa total	54
Eficacia luminosa - Cono a 90°	46
Temperatura de color [K]	3000
Rendimiento de color	80
Coordenada cromática CCx	0.437
Coordenada cromática CCy	0.404
Condiciones de operación	
Temperatura ambiente máxima	45
Temperatura ambiente mínima	-10
Posición de operación	Universal
Equipo de control	Driver electrónico integrado
Vida de la lámpara	
Vida promedio útil (L70)	25,000 hrs.
Ciclos de encendido (#)	100,000

Distribución Cromática



Cono de distribución luminosa



Anexo C. Evaluación Colorimétrica del Acta de Independencia.

CONCLUSIONES

Debido a la importancia histórica y documental del Acta de Independencia, el presente estudio tuvo como objetivo la evaluación completa y detallada de las cualidades cromáticas y ópticas entre dos momentos de registro (2009 y 2011), lo cual representa la interpretación del mismo en términos analíticos, conforme al establecimiento de criterios de conservación y posible intervención bajo el conocimiento de las propiedades que dan pauta a su apariencia general o posibles cambios a lo largo del periodo mencionado.

Los valores representativos en términos estadísticos de los parámetros ópticos determinados en los dos momentos de medición, se pueden apreciar en el **tabla 1**, donde dichas propiedades se agrupan en tres conjuntos denominados:

- A. Propiedades morfológicas superficiales.
- B. Atributos del color
- C. Metamerismo

Tabla 1. Comparativo de los parámetros estadísticos del grupo muestral de mediciones para el Acta de Independencia.

		Medición 2009					Medición 2011					Comparativo	
		Promedio	Desviación estándar	Porcentaje de Incertidumbre	Valor Máximo	Valor Mínimo	Promedio	Desviación estándar	Porcentaje de Incertidumbre	Valor Máximo	Valor Mínimo	Variación porcentual del promedio	Razón de dispersión*
A	Brillo	0.09	0.0251	28.9147	0.16	0.01	0.08	0.0116	15.4458	0.11	0.05	-13.27	0.4633
	Textura	13.11	8.9986	68.6238	131.02	6.44	13.62	2.2591	16.5851	21.82	9.41	+3.87	0.2510
B	Luminosidad	82.18	3.2333	3.9346	86.09	67.15	82.43	2.9641	3.5960	86.32	69.56	+0.31	0.9167
	Saturación	17.62	1.3405	7.6094	26.72	15.44	17.44	1.4230	8.1619	26.71	15.23	-1.03	1.0615
C	Tono	81.80	1.4191	1.7348	84.13	76.17	82.18	1.4537	1.7689	84.55	76.99	+0.46	1.0243
	D65-A	4.11	0.2497	6.0788	5.55	3.67	3.84	0.2316	6.0252	5.09	3.46	-6.44	0.9274
C	D65-CWF	2.86	0.2460	8.5986	4.52	2.46	2.66	0.2477	9.3025	4.27	2.28	-6.95	1.0067
	A-CWF	4.86	0.3627	7.4668	7.06	4.23	4.80	0.3781	7.8816	7.00	4.18	-1.25	1.0424

* Cociente entre la desviación estándar de la segunda medición y la desviación estándar de la primera medición.

Con base en los resultados obtenidos y el análisis anterior sobre el Acta de Independencia después de dos años del primer registro, se puede concluir lo siguiente:

- Todas las propiedades ópticas calculadas a partir del registro espectrofotométrico cambiaron en menor o mayor grado durante el periodo comprendido entre las dos mediciones.
- En términos estadísticos, no existen diferencias significativas entre el cambio en los valores promedios de cualquier cualidad registrada, salvo por el brillo.
- En términos estadístico, si hay diferencias significativas entre la dispersión de datos del conjunto muestral, destacándose dos grupos:
 - a) Aquellos que incrementaron la dispersión de valores, como la saturación, el tono y los metamerismos en D65-CWF y A-CWF.
 - b) Aquellos que disminuyeron la dispersión de valores, como el brillo, la textura, la luminosidad y el metamerismo D65-A.
- El cambio en las propiedades ópticas superficiales (A) se debe exclusivamente a efectos mecánicos del plano, mientras que los atributos del color (B) y el metamerismo (C) a la respuesta óptica y características fisicoquímicas del sustrato.
- El conjunto de datos registrados a lo largo del plano del Acta de Independencia, presenta una homogeneidad estadística amplia, por lo que se pueden considerar como conjunto muestral coherente con respecto a los atributos del color y el metamerismo (<10% de incertidumbre), es decir, el valor promedio representa con precisión al conjunto de resultados, así como al documento en su totalidad.
- Con respecto a las propiedades morfológicas superficiales, los resultados obtenidos se comportan como conjunto muestral heterogéneo (>10% de incertidumbre), por lo que es posible aseverar una conformación dispersa y aleatoria en cuanto a la definición constante de dichas propiedades sobre el plano del documento.

Finalmente es recomendable continuar con el seguimiento espectrofotométrico del documento, de tal forma que una tercera medición permita establecer una secuencia de evolución hacia tendencias de cambios claras.

La correlación entre las condiciones ambientales y los cambios sufridos por el documento, representa un problema complejo y no trivial. Sin embargo, el conocimiento de las variaciones descritas en el presente análisis, permite enfocar de manera precisa y específica los esfuerzos de conservación sobre determinada característica óptica.

Referencias

Bibliográficas

- Ageing and stabilization of paper, *Strlic Matija, Kolar Jana*, Ljubljana : National and University Library, 2005, p.19.
- Balances de materia y energía, *Himmelblau David M.*, Prentice Hall, 1995, p. 33.
- Color science in the examination of museum objects: nondestructive procedures, *Johnston-Feller Ruth*, Getty Conservation Institute Publications, 2001.
- El soporte de papel y sus técnicas: degradación y conservación preventiva, *Rodríguez Lazo María Dolores*, Universidad del País Vasco, Servicio Editorial, 1999.
- La restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte, *Gómez María Luisa*, Cuadernos de arte del Instituto del Patrimonio Histórico Español, Ediciones Cátedra, 1998.
- Manual para la preservación del papel: nueva era de la conservación preventiva y su aplicación actualizada, *Goren Silvio*, Alfagrama, 2010.
- Políticas de Conservación en Bibliotecas, *Sánchez Hernampérez Arsenio*, Arco Libros, 1999.
- Preservation: Issues and Planning, *Banks Paul N. y Pilette Roberta*, American Library Association, 2000.
- Principios Básicos de la Conservación Documental y Causas de su Deterioro, *Vaillant Callol Milagros, Nieves Valentín Rodrigo*, Instituto del Patrimonio Histórico Español, 1996, p. 23.
- The Preservation Challenge: A Guide to Conserving Library Materials, *Morrow Carolyn Clark, Walker Gay*, Knowledge Industry, Professional Librarian Series, 1983, p.12.
- Comunicación precisa de los colores, Konica Minolta Sensing Inc., 2003. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/index.html.
- Konica Minolta, curso de capacitación para uso de espectrofotómetro, octubre de 2012.
- CIE L*a*b* Color Scale, Hunterlab, Insight on color Vol.8 No.7, 2008. www.hunterlab.com/knowledge-library.html.

Figuras

- Figura 1. Imagen propia.
- Figura 2. Imagen propia.
- Figura 3. Imagen modificada de Strlic Matija y Kolar Jana, *Ageing and stabilization of paper*, Ljubljana : National and University Library, 2005, p.6.
- Figura 4. Strlic, p.7.
- Figura 5. www.ugr.es/~quioired/espec/espec.htm.
- Figura 6. Canadian Conservation Institute, www.cci-icc.gc.ca/caringfor-prendresoindes/articles/10agents/chap08-eng.aspx.
- Figura 7. Strlic, p.12.
- Figura 8. *Ibíd.* p.14.
- Figura 9. *Ibíd.*, p.142.
- Figura 10. *Ibíd.*, p.148.
- Figura 11. *Ibíd.*, p.15.
- Figura 12. Imagen modificada de www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part2/04.html.
- Figura 13. <http://escritoriocentros.educ.ar/datos/856.html>.
- Figura 14. X-Rite Incorporated, *Guía para entender la comunicación del color*, 2002, p.7.
- Figura 15. *Ídem.*
- Figura 16. *Ibid*, p.8.
- Figura17. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part3/02.html.
- Figura 18. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/09.html.
- Figura 19. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/07.html.
- Figura 20. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/11.html.
- Figura 21. X-Rite, p.13.
- Figura 22. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/11.html.
- Figura 23. Imagen modificada de www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part2/06.html.
- Figura 24. Imagen modificada de www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part2/04.html.
- Figura 25. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part3/01.html.
- Figura 26. *Ídem.*

- Figuras 27 a 65. Imágenes propias.

- Tabla 1. Sistemas desarrollados para preservación y exhibición. Ibarra González David, *Sistema de monitoreo para la preparación y transportación de obras históricas*, Tesis, Maestría en Ingeniería Mecánica, UNAM, 2013, p.1.