



Estudio de impresión láser e inkjet para reintegración cromática de obra gráfica. El caso de *Exposition au Salon du Louvre en 1787*

Fernando Tudela Rodríguez, Domingo Campillo García, Teresa Espejo Arias, Francisco José Collado-Montero

Resumen: La viabilidad de reintegración cromática mediante la aplicación de técnicas digitales ha sido estudiada y desarrollada durante las recientes décadas, siendo numerosos los ejemplos y técnicas desarrollados en los diferentes ámbitos de la restauración. Este trabajo analiza materialmente una impresión digital monocroma para su aplicación en la reintegración cromática de una litografía del siglo XIX. Para conocer la inocuidad de los materiales y la elección de la tipología de impresión, se ha realizado un estudio empírico del papel japonés como soporte con diferentes aprestos –almidón, gelatina y metilcelulosa – y de técnicas de impresión –láser e *inkjet*–, cuyos resultados han permitido concluir la restauración de manera eficaz.

Palabras clave: impresión, reintegración cromática, restauración, inyección de tinta, impresión láser, obra gráfica

Study of laser and inkjet printing for chromatic reintegration of graphic works. The case of *Exposition au Salon du Louvre in 1787*

Abstract: The feasibility of chromatic reintegration through the application of digital techniques has been studied and developed during recent decades, with numerous examples and techniques developed in different areas of restoration. This work materially analyses a monochrome digital print for its application in the chromatic reintegration of a 19th century lithography. To understand the safety of the materials and the durability of the printing, an empirical study has been carried out on Japanese paper as a support with different finishes – starch, gelatin and methylcellulose – and printing techniques – laser and *inkjet* –, the results of which have allowed complete the restoration effectively.

Keywords: printing, colour reintegration, restoration, inkjet, laser printing, graphic work

Estudo de impressão laser e jato de tinta para a reintegração cromática de obra gráfica. O caso de *Exposition au Salon du Louvre em 1787*

Resumo: A viabilidade da reintegração cromática através da aplicação de técnicas digitais tem sido estudada e desenvolvida durante as últimas décadas, sendo numerosos os exemplos e técnicas desenvolvidos nos diferentes âmbitos do restauro. Este trabalho analisa materialmente uma impressão digital monocromática para a sua aplicação na reintegração cromática de uma litografia do século XIX. Para conhecer a inocuidade dos materiais e a escolha da tipologia de impressão, realizou-se um estudo empírico do papel japonês como suporte com diferentes acabamentos - amido, gelatina e metilcelulose - e técnicas de impressão - laser e jato de tinta, cujos resultados permitiram concluir o restauro de forma eficaz.

Palavras-chave: impressão, reintegração cromática, restauro, jato de tinta, impressão laser, obra gráfica

Introducción

La reintegración cromática está considerada como una de las fases más importantes dentro de una restauración, como se desprende de la atención prestada a la misma por autores ya clásicos en el ámbito de la restauración, como Brandi (1988), Casazza (1992) o Baldini (1998) así como por diferentes documentos normativos, como la *Carta di restauro* 1972 (Brandi 1988) o la *Carta di restauro* 1987 (Marconi, 1988). De ella dependerá el juicio crítico tras una primera visión del espectador de la obra. La irrupción de las nuevas tecnologías y su amplio desarrollo se ha abierto paso dentro de este tratamiento en las distintas disciplinas a través de diferentes soportes de transmisión. En los últimos años encontramos un gran interés por parte de investigadores en la utilización de impresiones ad hoc en sus tratamientos de reintegración cromática. En el ámbito de la obra gráfica y textual, existen trabajos anteriores que utilizan técnicas de impresión como la inyección de tinta o la impresión láser para reintegrar cromáticamente pérdidas o lagunas. Encontramos casos de la restauración de un globo terráqueo (McClintock *et al.* 2015) o carteles publicitarios (Peláez *et al.* 2012), (Navarro-Miguel 2016). La diferencia que presenta este trabajo con relación a los anteriores reside, en gran parte, en el estudio colorimétrico de las impresiones. Así pues, se plantea el empleo de adhesivos como imprimación del soporte de impresión.

El objetivo principal de la presente investigación reside en demostrar la viabilidad de empleo de reintegración cromática mediante impresión contemporánea en obra gráfica monocroma a raíz del estudio, visual y colorimétrico, la recepción de la tinta de dos modelos de impresión sobre un soporte celulósico con y sin imprimación.

La investigación que se presenta continúa con la comenzada en Sánchez (2018) acerca de la perdurabilidad de tintas, concretada con el estudio de la impresión *inkjet*. Así mismo, esta línea pudo ser proseguida en Sánchez (2019) analizando la estabilidad de tintas en fotografía impresa.

La llegada al Taller de Conservación y Restauración de Documento Gráfico de la Universidad de Granada de una reproducción litográfica del grabado *Exposition au Salon du Louvre en 1787* [Figura 1.] con importantes deterioros y pérdidas de soporte provocados por un incendio, permitió aplicar una nueva línea de trabajo consistente en la reintegración cromática de las lagunas mediante impresión de papel japonés. La litografía fue extraída de un ejemplar de la revista francesa *Le Magasin Pittoresque*, publicada en 1852 en París.

Metodología

Para establecer la calidad de la impresión más adecuada para su uso como reintegración cromática, se ha planteado la investigación de impresiones *inkjet* y láser sobre papel japonés a partir de su estudio colorimétrico. Las impresoras



Figura 1.- Estado inicial de la litografía

elegidas han sido *Epson SureColor SC-P9000* para inyección de tinta y *Brother DCP-1510* para impresión láser. Esta elección se ha basado en las características propias de cada aparato, su calidad de impresión y por tratarse, dentro del mercado, de las más idóneas para realizar una comparativa para este tipo de trabajo. Así mismo, el comportamiento de perdurabilidad a largo plazo de las impresiones de la impresora *Epson* ha sido estudiado anteriormente en Sánchez (2019).

Como soporte de impresión se ha seleccionado el papel japonés Kawasaki de 36 gr/m², con los valores L* 83.16, a*-4.68 y b* 9.38. La elección ha estado motivada debido a sus cualidades físico-mecánicas bien demostradas por su uso extendido en reintegración matérica de documento gráfico (Espejo 2008; López *et al.* 2012; Crespo 2020). Para el estudio, además de una probeta sin imprimación, se han preparado otras imprimadas con diferentes adhesivos: almidón, gelatina y metilcelulosa, con el objetivo de examinar la mejor definición de impresión [Figura 2]. Para evaluar el color, en la probeta I se ha realizado una impresión de seis parches de distintos grises tomando como referencia los valores CIELAB de la carta ColorChecker Classic de X-Rite. El diseño de la probeta se realizó consultando dichos valores de la ficha técnica de la carta y se reprodujeron mediante *Adobe Photoshop CC 2021*. En todos los casos, se ha medido con el espectrofotómetro el color de los patrones físicos en papel de la carta de color y de las seis series de parches grises/negros, calculándose las diferencias de color entre ellos. Para completar el estudio, y comprender cómo se deposita la tinta sobre el papel, se diseñó la probeta II, en la que se han realizado impresiones de imágenes compuestas por finas líneas negras, paralelas y cruzadas, simulando la trama de un grabado. También se añadió una pequeña área de la litografía. Una vez generados estos archivos digitales, se realizó la impresión sobre el papel Kawasaki con y sin imprimación.

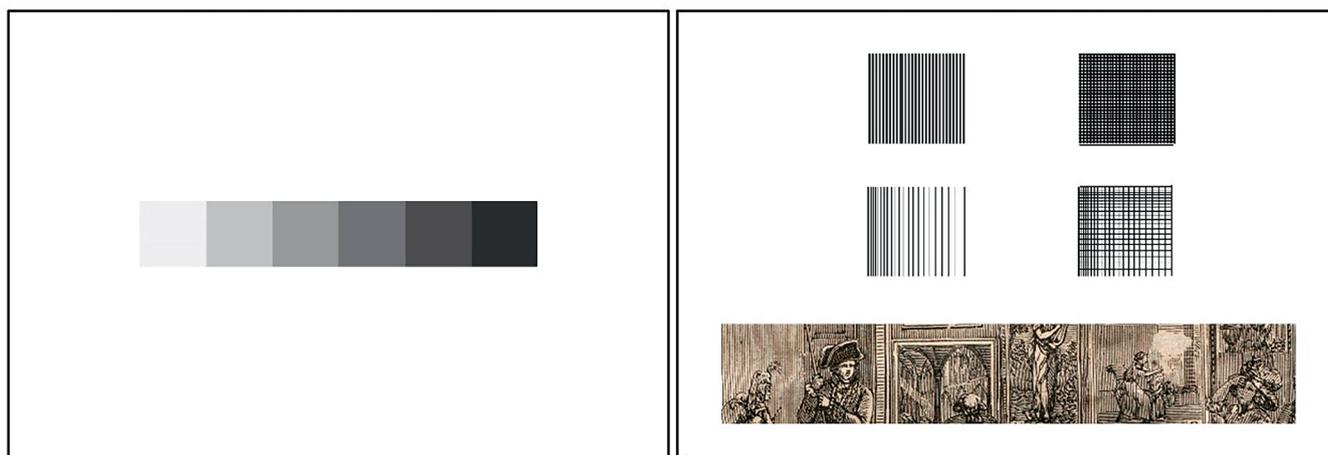


Figura 2.- Probeta I para evaluación colorimétrica (izquierda) y probeta II para estudio de definición del papel (derecha).

La metodología empírico-analítica establecida se ha basado en tres aspectos fundamentales, que se detallan a continuación: evaluación colorimétrica de las impresiones, estudio de definición del papel, y aplicación del protocolo sobre una obra real.

Evaluación colorimétrica de las impresiones

—Medidas del color de las probetas

La metodología seguida se ha basado en la realización de 3 medidas en cada probeta para determinar los valores cromáticos correspondientes, de acuerdo con el espacio de color CIELAB –CIE 1976 L^* , a^* , b^* – (ISO/CIE 11664-4:2019). Se trata de un espacio aproximadamente uniforme de color cuyas coordenadas son funciones no lineales de los valores triestímulo X, Y y Z (ISO/CIE 11664-3:2019) y sus valores numéricos representan aproximadamente la magnitud relativa de las diferencias de color que se pueden describir por distancias euclídeas en el espacio.

Este espacio nos permite calcular las coordenadas cartesianas CIELAB (L^* , a^* y b^*), así como las correspondientes coordenadas cilíndricas, más relacionadas con los principales atributos perceptivos del color, que denominados claridad, L^* , croma, C^*_{ab} , y ángulo de tono, h_{ab} (estas son las que utilizaremos en este trabajo para expresar los valores CIELAB [Gráficos 1 y 2])

La coordenada L^* (claridad) corresponde a la luminosidad de una superficie con respecto a otra superficie de referencia blanca iluminada de idéntico modo. Para muestras no fluorescentes puede tomar valores entre 0 (para una superficie totalmente negra) y 100 (para un blanco de referencia ideal). La coordenada a^* corresponde al sistema rojo-verde, con origen de coordenadas en el cero. La coordenada b^* se refiere al sistema amarillo-azul. Los valores de estas coordenadas pueden ser positivos o negativos:

$a^*>0$ representa la componente roja; $a^*<0$ la verde; $b^*>0$ la amarilla; $b^*<0$ la azul. Las coordenadas rectangulares pueden correlacionarse aproximadamente con las correspondientes coordenadas cilíndricas (claridad L^* , croma C^*_{ab} y ángulo de tono h_{ab}), que son las que emplearemos en este estudio.

Asimismo, se han calculado las diferencias de color según la fórmula de diferencia de color CIELAB: ΔE^*_{ab} (diferencia de color total), que también puede expresarse como diferencias de claridad (ΔL^*), croma (ΔC^*_{ab}) y tono (ΔH^*_{ab}) (CIE15:2004) (ISO/CIE 11664-4:2019).

Es conocido que la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) recomiendan actualmente, para determinadas condiciones de referencia, la fórmula de diferencia de color CIEDE2000 (ISO/CIE 11664-6:2014), (Luo *et al.* 2001; Sharma *et al.* 2005), cuando se desea conseguir una buena correlación entre los valores de diferencia de color calculados y las diferencias visualmente percibidas por observadores con una visión normal del color. Sin embargo, en nuestro caso, no se cumplen totalmente dichas condiciones (i.e. diferencias de color inferiores a 5.0 unidades CIELAB, campo circundante neutro con $L^* = 50$, etc.), por lo que hemos considerado oportuno recurrir al espacio y la fórmula de diferencia de color CIELAB, que resulta más familiar en la investigación colorimétrica aplicada al patrimonio cultural y ha sido empleada en (Collado-Montero *et al.* 2021; Collado-Montero, Espejo 2015; López-Martínez *et al.* 2022; López-Montes *et al.* 2017; Melgosa *et al.* 2015).

El equipo empleado para las medidas del color ha sido un espectrofotómetro Konica-Minolta CM-2600d de acuerdo con las siguientes condiciones de medición: geometría de iluminación difusa y detección a 8° (de: 8°), componente especular excluida (SCE), área de medida del instrumento: 8 mm de diámetro; opción de iluminación: UV 0%; iluminante estándar CIE D65 (ISO 11664-2:2007) y observador colorimétrico estándar CIE 1964 (ISO 11664-1:2019). La adquisición de medidas fue realizada con el programa

Spectramagic™ NX Pro-Color Data Software, de Konica Minolta y su posterior gestión mediante hoja de cálculo. La calibración del instrumento se hizo usando la placa de calibración blanca CM-A145, para la claridad máxima (blanco) y la caja de calibración cero CM-A32 para la claridad mínima (negro), ambos proporcionado por el fabricante del espectrofotómetro.

— Registro fotográfico de textura y apariencia superficial

Las probetas se han examinado superficialmente para analizar el depósito de la tinta sobre el soporte, en particular, en lo referente a la homogeneidad o al sangrado de las tintas. El examen de las distintas impresiones se ha llevado a cabo empleando el microscopio óptico Nikon DS-Fi2 (zoom 0.8X a 8X; sistema de iluminación episcópica), y obteniéndose los correspondientes registros visuales. El estudio se ha llevado a cabo mediante un aumento de 0.8X a 8X e iluminación transmitida regulable.

Estudio de definición del papel

Sobre un archivo digital se generaron dos áreas compuestas por finas líneas negras paralelas y entrecruzadas, emulando la composición de un grabado. A estas zonas se les agregó una selección de la litografía que se deseaba reproducir. Al igual que la probeta anterior, esta probeta fue creada esta mediante el software *Adobe Photoshop CC 2021*.

— Registro fotográfico de textura y apariencia superficial

Este ensayo de caracterización se llevó a cabo siguiendo la misma metodología que en el estudio de influencia de la tonalidad del papel en la impresión.

Aplicación del protocolo sobre una obra real

El proceso de intervención comenzó registrando un análisis documental y del estado de conservación, fase de suma importancia, ya que consiste en dejar constancia del estado en el que el objeto llega al taller. Tras evaluar el estado de conservación, se efectuó un diagnóstico adecuado según las características de la obra.

— Escaneo de la imagen

Para llevar a cabo la aplicación de técnicas digitales de reintegración cromática, fue fundamental realizar un escaneado a alta calidad de la imagen acompañada de carta de color y escala [figura 1]. Para esto, empleamos como equipo el escáner EPSON Expression 10000 XL, generando un archivo TIFF de 400 ppp. La imagen se procesó posteriormente para ajustar posibles desviaciones en la calibración del color.

— Tratamiento digital e impresión

Para la impresión de la reintegración cromática mediante impresión digital fue necesario conseguir una imagen de referencia. Dado que se trataba de una litografía producida a nivel industrial se pudo obtener en la red y con una resolución de 300ppp, adecuada para el trabajo a realizar. El archivo se encuentra disponible en acceso abierto en la plataforma Wikipedia Commons, desde donde se descargó libremente ^[1].

Una vez obtenidas la imagen original y la imagen de referencia se ha procedido al tratamiento digital, para el cual se ha empleado el software *Adobe Photoshop CC 2021*. Se ha ajustado el perfil de color incrustado en Adobe RGB 1998.

Resultados

— Resultados del estudio de la influencia de la tonalidad del papel en la impresión

Una vez realizada la impresión de las probetas, tanto en inyección de tinta como en láser, se pudo comprobar la homogeneidad en la impresión de manchas de las diferentes gamas de gris y negro, en un mismo papel, con las 3 diferentes imprimaciones y para los 2 tipos de impresión [Gráficos 1 y 2].

Mediante la visualización con el microscopio óptico con diferentes aumentos, se pudo apreciar que las probetas no presentan cambios.

Estudio colorimétrico

• Diferencias de color (ΔE^*_{ab})

Si se considera el color de las probetas, independientemente del tipo de impresión y del acabado del papel (sin imprimación y con los diferentes tipos de imprimación), observamos que se trata de muestras casi acromáticas (grises y negros), con los siguientes valores promedio: claridad $L^* = 63.2 \pm 15.3$ (claridad variable, desde muy alta a muy alta a relativamente baja), croma $C^*_{ab} = 9.2 \pm 3.1$ (escaso colorido) y tono (ángulo de tono) $h_{ab} = 112.2 \pm 8.4$ (ligeramente amarillo) [Gráficos 1 y 2].

El análisis colorimétrico determina que, en todas las probetas hay una variación notable del color con respecto a los respectivos patrones de referencia grises-negros (medidos en las muestras de color en soporte físico ColorChecker Classic de X-Rite, con un valor medio de diferencia de color (ΔE^*_{ab}) = 12.2 ± 4.6 , por tanto, claramente perceptible al ojo humano (puesto que la capacidad óptima de discriminación del ojo humano es de 1.0 unidades CIELAB (Melgosa *et al.* 1992; Huang *et al.* 2012)

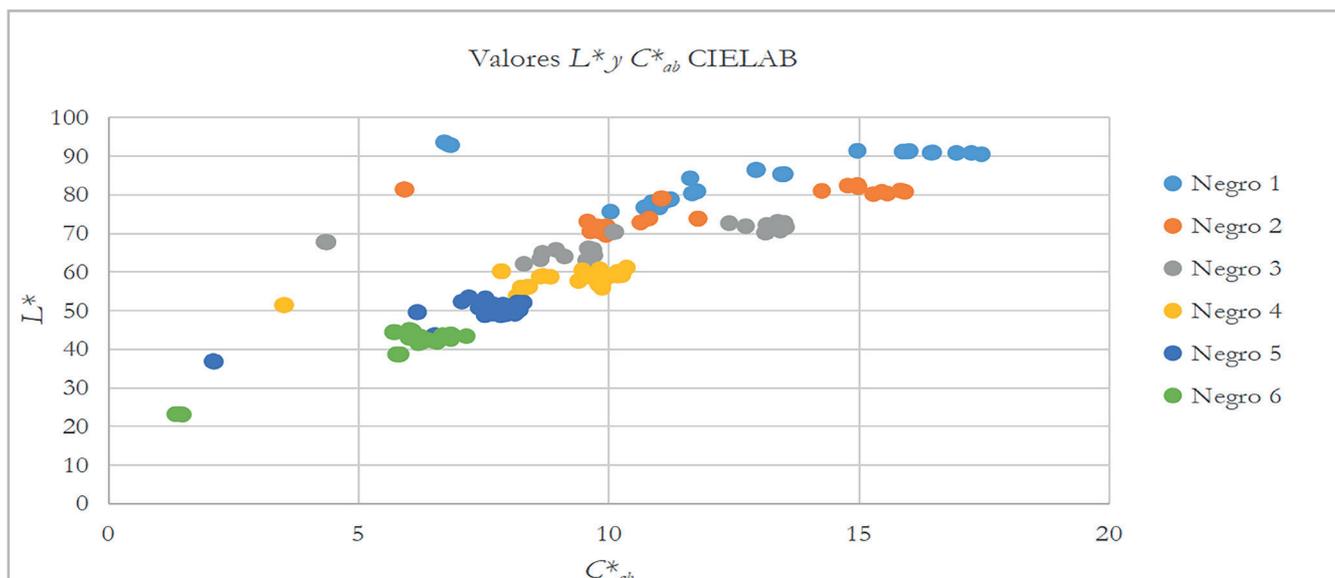


Gráfico 1.- Valores individuales L^* y C^*_{ab} CIELAB de las 6 series de probetas (Negro 1 - Negro 6), considerando tanto el tipo de impresión (*Inkjet* y Láser) como el de acabado del papel (Sin imprimación, Almidón, Gelatina y Metilcelulosa)

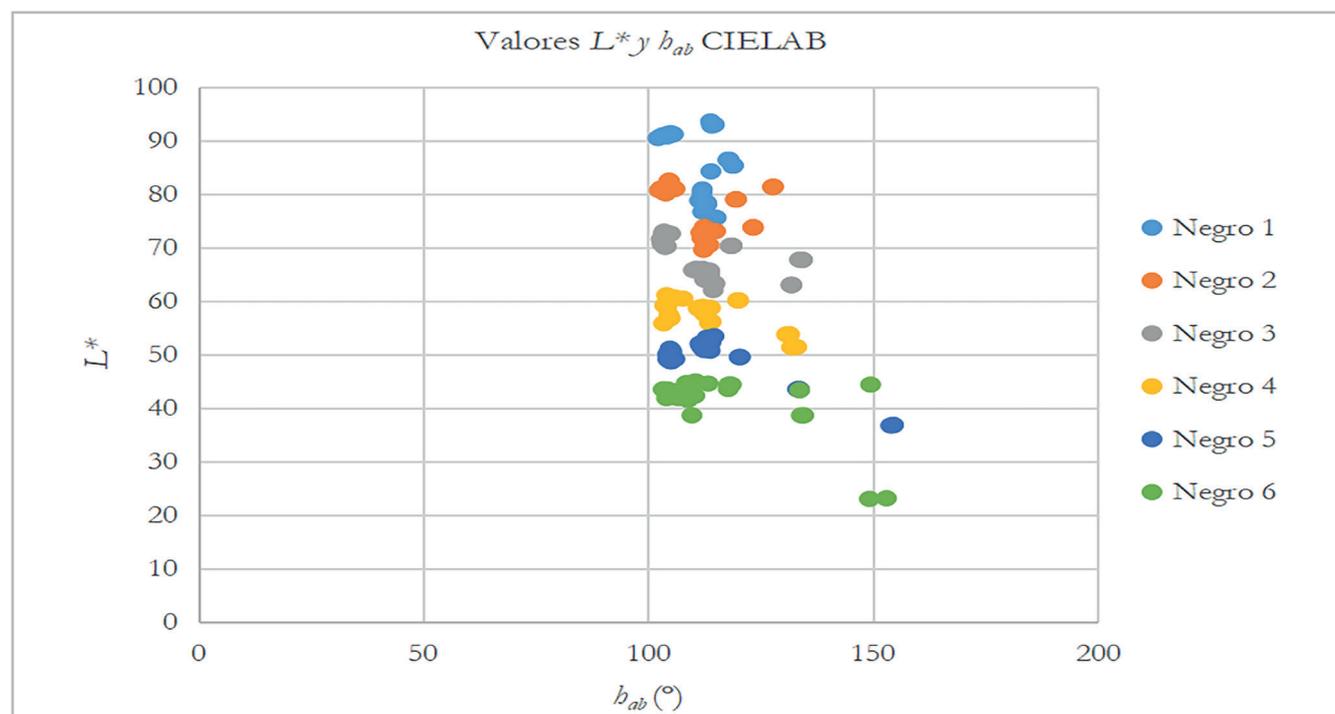


Gráfico 2.- Valores individuales L^* y h_{ab} CIELAB de las 6 series de probetas (Negro 1 - Negro 6), considerando tanto el tipo de impresión (*Inkjet* y Láser) como el de acabado del papel (Sin imprimación, Almidón, Gelatina y Metilcelulosa)

Asimismo, se confirma un incremento de los valores medios de diferencia de color (ΔE^*_{ab}) en las series más claras y más oscuras, particularmente en estas últimas (Negro 6 es la que registra un valor más alto: 20.2 ± 1.9), si bien las gamas intermedias son las que ofrecen los más bajos (en concreto la serie Negro 3: 8.0 ± 2.1).

Teniendo en cuenta solo el tipo de impresión, *inkjet* y láser [Gráfico 3], para cada color, independientemente del tipo de acabado del papel, se registran valores más altos de diferencia de color en las series más oscuras, y en menor medida, en las más claras, siendo las probetas de un gris

intermedio las que menor diferencia registran. Igualmente, se observa que la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) promedio es ligeramente mayor en las probetas *inkjet* que en las láser, con los siguientes valores: impresión *inkjet* = 12.5 ± 5.4 ; impresión láser: = 11.8 ± 3.9 .

Atendiendo solo al tipo de acabado del papel [Gráfico 4], se aprecian, de nuevo, valores más elevados de diferencia de color en las series más oscuras, y en menor medida, en las más claras. Las probetas de un gris intermedio son las que menor diferencia muestran. Por otro lado, los valores promedio de diferencia de color (ΔE^*_{ab}) son prácticamente

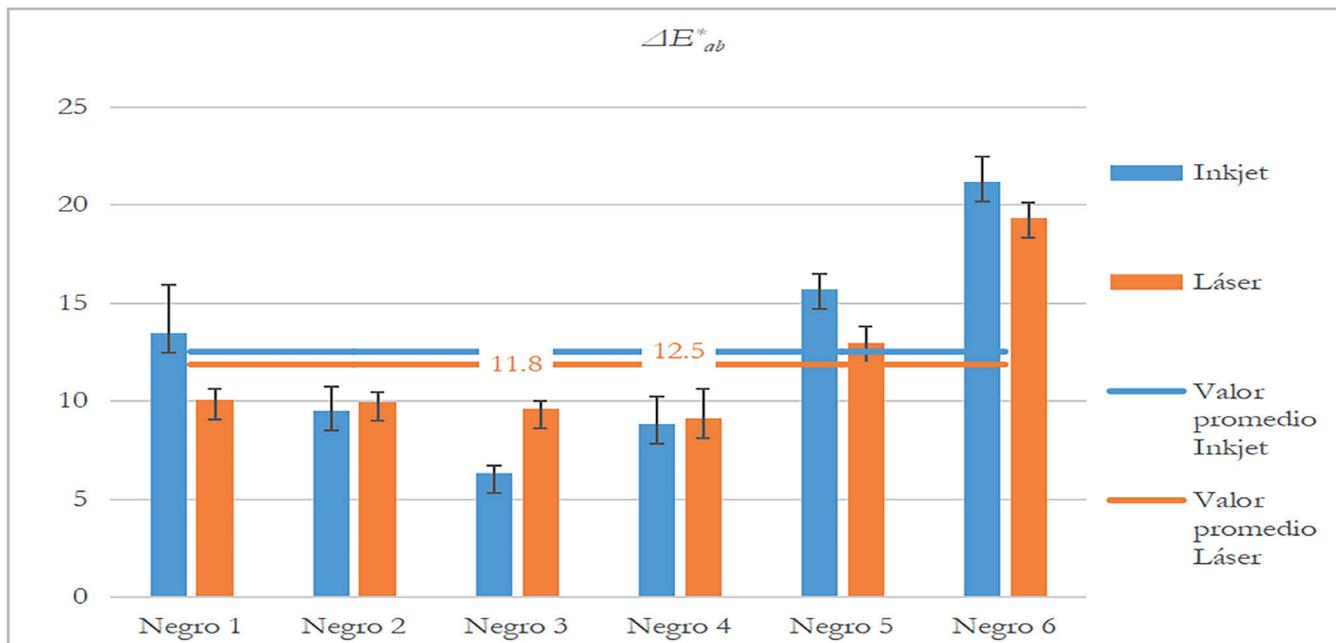


Gráfico 3.- Valores promedio de diferencia de color ΔE^*_{ab} de las 6 series de probetas (Negro 1 - Negro 6) considerando el tipo de impresión (inkjet y láser), representados por columnas, y valores promedio de diferencia de color ΔE^*_{ab} de las probetas inkjet y láser, representados por líneas.

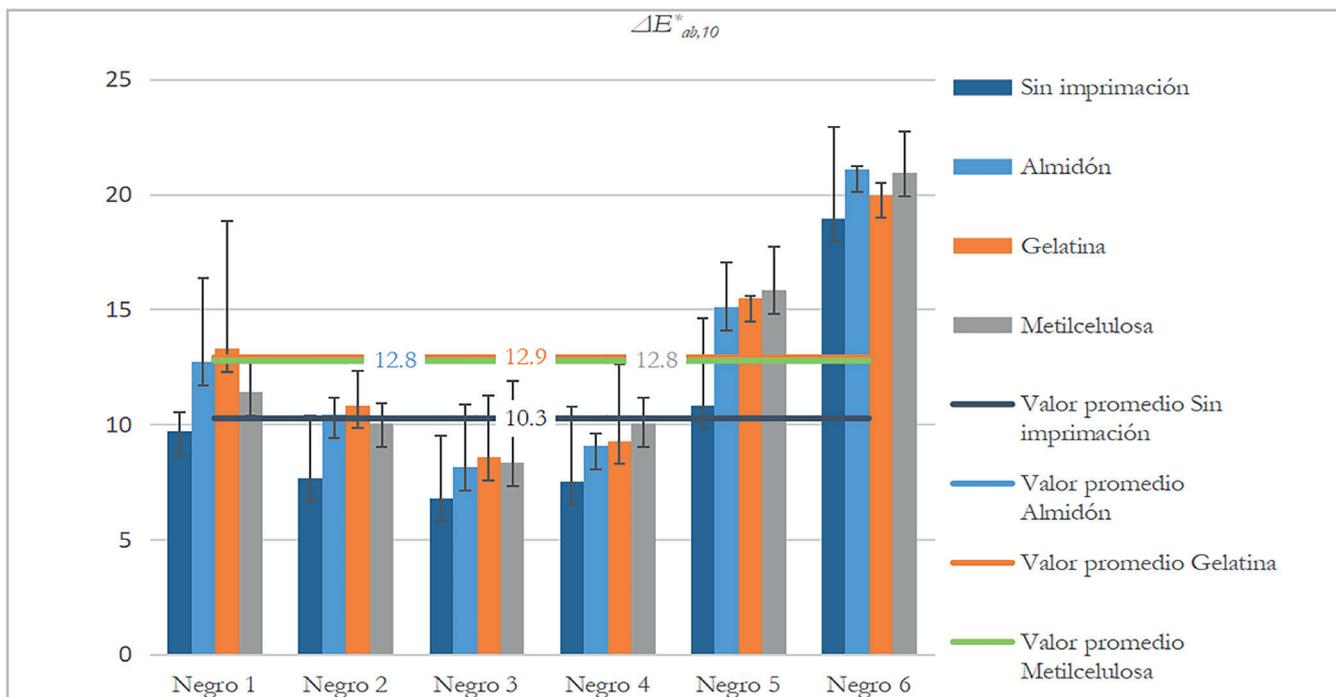


Gráfico 4.- Valores promedio de diferencia de color ΔE^*_{ab} de cada una de las 6 series de probetas (Negro 1 - Negro 6) considerando el tipo de acabado del papel (Sin imprimación, Almidón, Gelatina y Metilcelulosa), representados por columnas, y valores promedio de diferencia de color ΔE^*_{ab} de las probetas según el tipo de acabado (Sin imprimación, Almidón, Gelatina y Metilcelulosa), representados por líneas.

iguales en todas las muestras con papel imprimado (Almidón = 12.8 ± 4.8 , Gelatina = 12.9 ± 4.3 y Metilcelulosa = 12.8 ± 4.7) y superiores a las probetas sin imprimación (10.3 ± 4.5).

Integrando los diferentes tipos de acabado del papel (con imprimación y sin ella) y de impresión, para cada una de

las series de probetas (Negro 1 - Negro 6), [gráfico 5] se puede comprobar, al igual que ocurre en los gráficos 4 y 5, un incremento de la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) en las muestras más oscuras, siendo las probetas sin imprimación las que registran valores más bajos. De este modo, el valor promedio más bajo lo ofrecen las probetas Sin imprimación Láser (9.4 ± 3.8) y el más alto Almidón (13.2 ± 5.4).

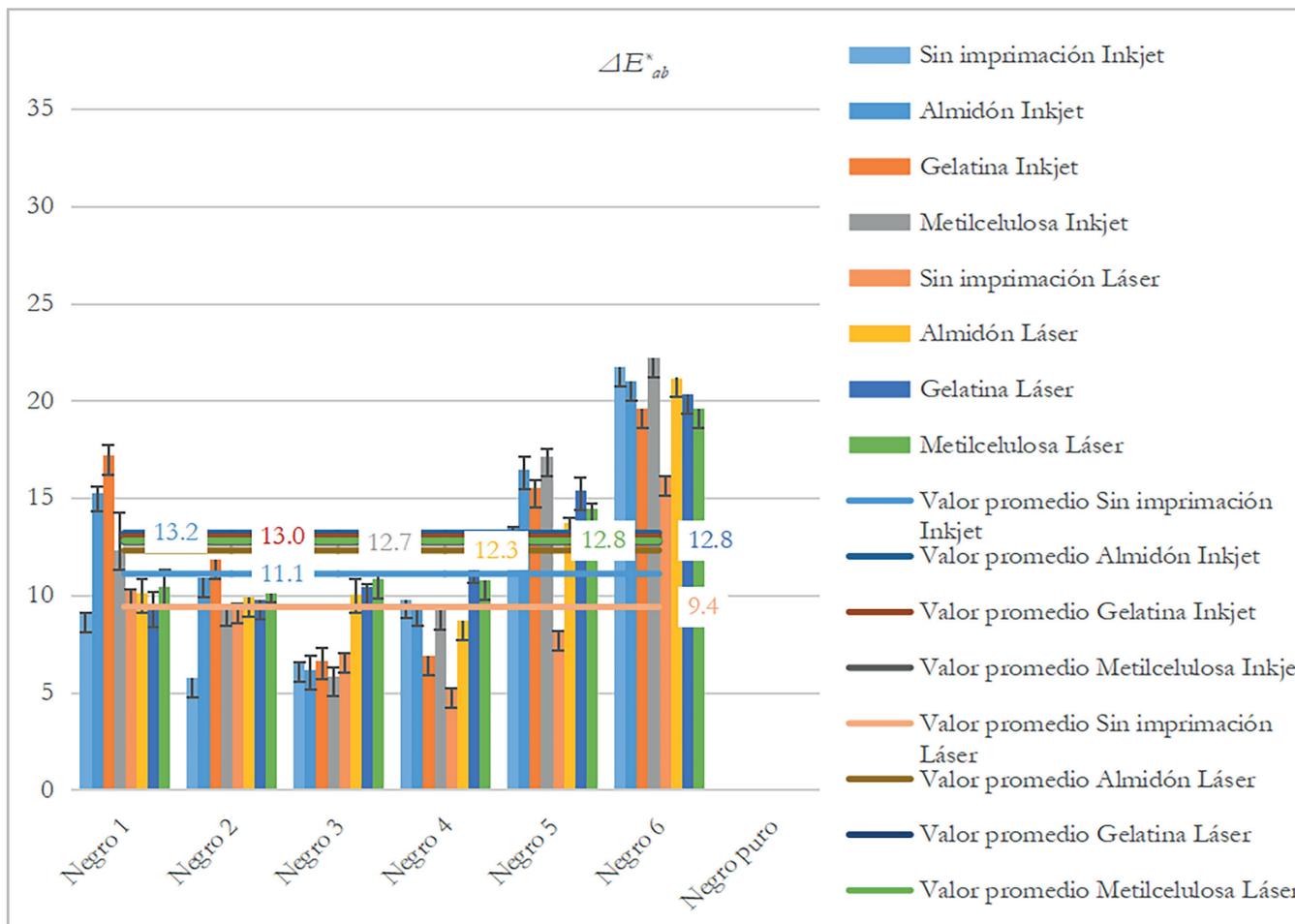


Gráfico 5.- Valores promedio de diferencia de color ΔE^*_{ab} de las 6 series de probetas (Negro 1 - Negro 6) integrando tanto el tipo de impresión (*Inkjet*, *Láser*) como el de acabado del papel (Sin imprimación, Almidón, Gelatina y Metilcelulosa), representados por columnas, y valores promedio de diferencia de color ΔE^*_{ab} de las probetas Sin imprimación *Inkjet*, Almidón *Inkjet*, Gelatina *Inkjet*, Metilcelulosa *Inkjet*, Sin imprimación *Láser*, Almidón *Láser*, Gelatina *Láser* y Metilcelulosa *Láser*, representados por líneas.

- Diferencias de claridad (ΔL^*), croma (ΔC^*_{ab}) y tono (ΔH^*_{ab})

Considerando el color desglosado en sus coordenadas psicofísicas, se puede atender a las diferencias de claridad (ΔL^*), croma (ΔC^*_{ab}) y tono (ΔH^*_{ab}) de las series de probetas].

Así, la diferencia de claridad (ΔL^*) registra un valor medio de 4.4 ± 10.5 ; con cifras parciales negativas en las muestras Negro 1 y Negro 2 y positivas en las restantes. Negro 3 es la serie que menos variación de claridad muestra (0.1 ± 4.0). Negro 1 es la que sufre un mayor descenso medio de claridad con respecto al patrón (-8.0 ± 5.8) y Negro 6 la que experimenta un mayor ascenso (19.5 ± 1.9).

Por su parte, la diferencia de croma (ΔC^*_{ab}) registra un valor medio de 5.9 ± 1.8 ; con cifras parciales positivas en todas las series: Negro 6 es la que menor subida experimenta (4.8 ± 0.4) y Negro 1 la que mayor incremento sufre (6.8 ± 2.5). Por último, la diferencia de tono (ΔH^*_{ab}) ofrece un valor medio de -2.1 ± 1.2 ; con datos parciales negativos en todos los casos: Negro 1 registra la menor diferencia (-0.6 ± 1.1) y Negro 5 la mayor (-2.8 ± 0.7).

Resultados del estudio de definición del papel

Las imágenes impresas obtenidas se han observado mediante microscopio óptico, analizándose la deposición de la tinta sobre el papel [Figura 3].



Figura 3.- Detalle de la probeta II, impresa con inkjet y dos capas de gelatina, capturada mediante aumento de 0.8X en microscopio óptico.



Figura 4.- Comparativa de definición de laguna a injertar: imagen digital, impresión *inkjet* sobre metilcelulosa e impresión láser sin imprimación.

En el caso de impresión mediante inyección de tinta, tanto en papel sin adhesivo, como en el imprimado con gelatina, encontramos una pérdida importante de definición. En el caso de preparado con almidón y con metilcelulosa, se apreció una notable diferencia de nitidez aplicando cuatro capas de adhesivo, frente a dos.

Esta pérdida es producida por el tipo de impresión. Como se aprecia en la probeta II, en los parches compuestos por finas líneas se produce un sangrado de la tinta al ser recibida en el papel [Figura 4]. Este es un factor común que ocurre en todos los tipos de probeta II, las impresas directamente sobre el soporte sin preparar y en las que fueron imprimadas.

En las probetas impresas con técnica láser encontramos una buena apariencia general en la totalidad de las muestras, manteniendo una buena definición en aquellas que han sido imprimadas y en la que no. Esto se debe a que el tóner es recibido en forma de pequeños puntos que se agrupan formando la imagen. A diferencia de la *inkjet*, el tóner, por su propia naturaleza pulverulenta, no penetra en el papel, sino que queda en la superficie del mismo, por lo que evitamos sangrado y pérdida de definición.

Para llevar a cabo la reintegración cromática impresa se determinó que el sistema láser era el más adecuado para la realización de las impresiones. Dada la exigua diferencia entre aquellas impresas con imprimación a la del papel sin imprimir, se seleccionó esta última opción por tratarse de aquella que no aporta aditivos innecesarios a la obra original.

Resultados de la aplicación del protocolo

La generación de la imagen digital de los injertos fue realizada mediante *Adobe Photoshop® CC 2021* en base a una imagen de referencia adquirida en la red. Una vez obtenida la impresión con las lagunas a reintegrar, se procedió a la inclusión de los injertos en la obra. Se trata de un proceso el cual se debe llevar a cabo con sumo cuidado puesto que consiste en ir recortando la zona

impresa a punta de bisturí y lo más delimitados posible. En caso de que se cercene demasiado el injerto, este quedará más pequeño que la laguna y por ende, rodeado de un perfil. En el caso contrario, en el que sea más grande que la laguna, ocultaríamos parte original de la litografía. Una vez obtenido el injerto, se reintegró la laguna empleando como adhesivo metilcelulosa.

Las lagunas matéricas han sido reintegradas mediante adición del mismo papel japonés empleado en la impresión de la reintegración cromática, utilizando metilcelulosa como adhesivo también en este caso. Una vez completada la reintegración tanto matérica como cromática digital impresa, se procedió a su alisado mediante presión en prensa y el recorte de sobrantes. Finalmente, se volvió a digitalizar la litografía en alta resolución con el equipo EPSON Expression 10000 XL a 400 ppp [Figura 5].

Para la preservación de la litografía y su archivo, se ha realizado una carpeta de conservación, de manera que aisle y proteja el documento del ambiente o de otros documentos anexos, facilitando además su manipulación.

Conclusiones

Con la realización de esta investigación se ha pretendido mostrar la viabilidad de aplicación de técnicas digitales de impresión contemporánea en la reintegración cromática de obra gráfica y textual, aplicando los resultados del estudio empírico-analítico en una litografía del siglo XIX.

Se ha comprobado que la impresión de los parches de color gris en ambas técnicas, *inkjet* y láser, y tanto su estudio visual como colorimétrico fue esencial para conocer el nivel de variación de tonalidad que ha sufrido la impresión debido al tono amarillento del papel japonés. Mediante el examen visual, no se percibió variación cromática en la impresión de parches de grises y negros en un mismo papel imprimado con diferentes adhesivos.

La evaluación colorimétrica realizada confirma que en todas las probetas hay una variación claramente perceptible del

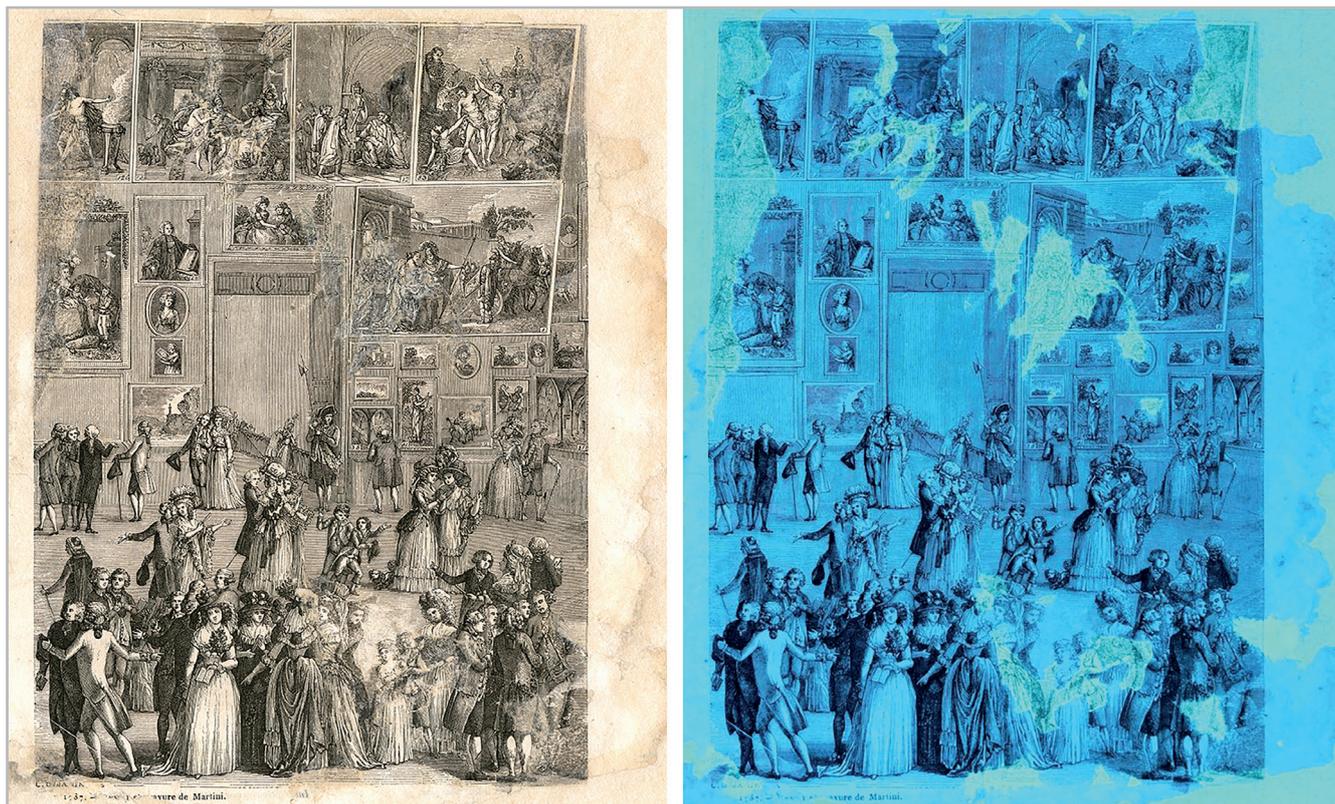


Figura 5.- Comparativa entre el resultado final tras la intervención y la documentación fotográfica con luz UV.

color con respecto a los patrones de referencia (valor medio de diferencia de color de color total = 12.2 ± 4.6).

Considerado el color de las probetas, se comprueba que las mayores diferencias (ΔE^*_{ab}) se registran en los grises más oscuros (serie Negro 6, seguida de Negro 5) y, en menor medida, en los más claros (serie Negro 1, seguida de Negro 2), mientras que la menor diferencia se produce en los grises intermedios (la serie Negro 3 es la que sufre menor variación, seguida de la Negro 4). Ello indicaría que una baja claridad (debida a un alto aporte de tinta/tóner al papel) y, en menor medida, una alta claridad (por escaso aporte de tinta/tóner al papel) están en relación directa con el incremento de las diferencias de color entre probeta y patrón.

Teniendo en cuenta el tipo de impresión, se observa que las probetas con impresión Láser han sufrido una mayor variación media de color con respecto a los patrones en tanto que las de impresión *inkjet* han experimentado menor cambio, si bien la diferencia es inferior a una 1 unidad CIELAB (y, por tanto, no perceptible, en general).

Atendiendo solo al tipo de acabado del papel, los valores medios de diferencia de color son prácticamente iguales en los tres tipos de muestras con imprimación: Almidón, Gelatina y Metilcelulosa. En cambio, las probetas sin imprimación presentan valores claramente inferiores a los de las probetas imprimadas.

Estos datos nos permiten extraer dos conclusiones: 1) que en las probetas con papel imprimado es la cantidad de tinta/tóner

depositada en el papel (en las 6 series de probetas analizadas: Negro 1 – Negro 6) y, por tanto, la mayor o menor claridad de las muestras, el factor que induce más diferencia de color con respecto a los respectivos patrones, no tanto los tipos de impresión (*Inkjet*, Láser) o de imprimación (Almidón, Gelatina, Metilcelulosa). 2) Que la imprimación provoca más diferencias de color que un acabado sin imprimir, en todos los casos.

Por otro lado, la cifra relativamente alta de desviación estándar en los valores de diferencia de color de las probetas (consideradas en función del tipo de impresión y de acabado) indican una cierta variabilidad y, por tanto, heterogeneidad, en el color de las muestras medidas.

Si desglosamos las diferencias CIELAB de color en diferencias de claridad (ΔL^*), croma (ΔC^*_{ab}) y tono (ΔH^*_{ab}), comprobamos que es el croma la coordenada de color que mayor cambio medio experimenta ($\Delta C^*_{ab} = 5.9 \pm 1.8$), seguida de la claridad ($\Delta L^* = 4.4 \pm 10.5$). En este último caso, se aprecia una elevada heterogeneidad en los valores de diferencia de claridad (conforme a la elevada cifra de desviación estándar), que se corresponde, lógicamente, a la medidas de muestras muy claras con otras muy oscuras. Tanto las diferencias promedio de claridad como de croma son positivas, lo que indica unos moderados aclaramiento y aumento de colorido de las probetas con respecto a los patrones correspondientes. Por su parte, la diferencia de tono es la que menor cambio registra, y negativo ($\Delta H^*_{ab} = -2.1 \pm 1.2$), lo que se traduce en escasa variación del ángulo de tono (h_{ab}) con relación al croma (C^*_{ab}), traduciéndose en un ligero amarilleamiento de las muestras e incremento de intensidad con relación a los patrones.

Los estudios realizados sobre las probetas han dado como resultado que la impresión mediante inyección de tinta, pese a presentar las características adecuadas para el objeto de estudio, no es la adecuada para este tipo de impresiones. Las finas líneas que componen un grabado no son aptas para este tipo de impresión, obteniendo como resultado una pérdida de definición por sangrado de tinta.

En las impresiones realizadas con inyección de tinta, al imprimir el papel con diferentes adhesivos antes de la impresión, se ha observado diferencia en el resultado final. En aquellos en los que se han aplicado cuatro capas, como el caso del almidón y metilcelulosa, se obtiene una notable diferencia de definición, frente a dos capas de adhesivo. Por otro lado, en las impresiones sin adhesivo y en gelatina, el resultado es una pérdida importante de definición.

Por todo ello, se puede decir que, en nuestro caso de estudio en concreto, la impresión mediante el sistema láser ha ofrecido unos resultados destacadamente superiores en cuanto a definición frente al sistema de inyección de tinta. Con este tipo de impresión se ha conseguido una definición adecuada para la obra a intervenir. Además, se ha podido observar [Figura 4] que no es necesaria la preparación previamente del papel con un adhesivo. Es de añadir, que la forma de trabajar de las impresoras láser es beneficioso para el campo de la restauración. El papel recibe el tóner en forma de pequeños puntos que se forman por la agrupación de las partículas pulverulentas de su composición. De esta forma, y a una vista cercana a la obra, conseguimos una mayor diferenciación entre añadido y original, contribuyendo a los criterios de discernimiento de la restauración ética.

La intervención realizada sobre la litografía *Exposition au Salon du Louvre en 1787*, ha sido la esperada, cumpliendo con los objetivos programados y devolviendo la legibilidad a la obra. La reintegración cromática digital impresa permite una diferenciación entre la obra original y el añadido. La documentación fotográfica con luz ultravioleta confirma que esta tipología de restauración es discernible. En las fotografías obtenidas se puede comprobar cómo los injertos ejecutados mediante reintegración cromática digital impresa presentan una tonalidad diferente a la de la obra original, debido a la diferencia de antigüedad y composición de los materiales.

Gracias a esta actuación se confirma que la reintegración cromática mediante impresión de lagunas es posible y viable, abriendo una nueva forma de trabajo en los talleres de conservación y restauración de documento gráfico y textual. La estabilidad de los materiales estudiados en trabajos anteriores, junto al aval de las técnicas japonesas de restauración de papel, ha permitido un excelente resultado en la restauración.

Agradecimientos

La investigación realizada estuvo amparada por el Proyecto de investigación CCDOC: *Caracterización no invasiva*

y conservación de soportes traslúcidos y lignificados en documentos gráficos (PID2022.142431NB.I00), perteneciente al programa Proyectos de Generación de Conocimiento del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023, del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Notas

[1] Las imágenes de esta plataforma se encuentran en dominio público en áreas donde el término de los derechos de autor es la vida del autor más 100 años, como es el caso de España.

Referencias

- BALDINI, U. (1997). *Teoría de la restauración y unidad de metodología: Vol. 1*. Nardini Editore: Florencia.
- BRANDI, C. (1988). *Teoría de la restauración*. Alianza Editorial: Madrid.
- CASAZZA, O. II (1992). *Restauro pittorico nell'unità di metodologia*. Nardini Editore: Firenze. 1992.
- CRESPO ARCÁ, L. (2021). Washi, el paper dels déus. Notes sobre la seva història, naturalesa i usos en conservació i restauració. *UNICUM*, (20): 5–20. <https://unicum.esrbcc.cat/index.php/unicum/article/view/207>.
- COLLADO-MONTERO, F. J., CALERO-CASTILLO, A. I., MELGOSA, M., MEDINA, V. J. (2021). Colorimetric evaluation of pictorial coatings in conservation of plasterworks from the Islamic tradition, *Studies in Conservation*, 64(2): 90-100. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1460924>
- COLLADO-MONTERO, F. J., ESPEJO ARIAS, T. (2015). A colorimetric characterization and assessment of the chromatic deterioration of the medieval manuscript Registro Notarial de Torres in the Archives of the Royal Chancellery in Granada, Spain, *Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material*, 36(2): 121–145.
- ESPEJO ARIAS, T. (2008). *Informe sobre la restauración de un ejemplar de P. Dioscórides, de 1570*. Informe de restauración inédito, Universidad de Granada.
- HUANG, M.; LIU, H.; CUI, G.; LUO, M.R. & MELGOSA, M. (2012). Evaluation of Threshold Color Differences using Printed Samples. *J. Opt. Soc. Am. A* 29: 883-891.
- ISO 11664-1:2019 (Formerly ISO 11664-1:2007(E) / CIE S014-1/E: 2006). *Colorimetry. Part 1: CIE standard colorimetric observers*.
- ISO 11664-2:2007(E) / CIE S014-2/E: 2006). *Colorimetry. Part 2: CIE standard illuminants*.
- ISO/CIE 11664-4:2019 (Formerly ISO 11664-4:2008(E) / CIE S

014-4/E:2007). *Colorimetry—Part 4: CIE 1976 L*a*b* color space*. LÓPEZ-MARTÍNEZ, T., COLLADO-MONTERO, F. J., GARCÍA BUENO, A. (2022). Ensayos de consolidación en pintura mural arqueológica: comparación de tratamientos en función de la técnica de ejecución, *Conservar Patrimonio*, 39: 33-44, <https://doi.org/10.14568/cp2020040>

LÓPEZ-MONTES, A., COLLADO-MONTERO, F. J., CASTILLO, E.; BLANC, R.; CAMPILLO, D., ESPEJO, T. (2017). Aging analysis of a color facsimile binding for the 14th century manuscript "Registro Notarial de Torres", *Color Research and Application*, 42(4): 474-485, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/col.22093>

MARCONI, P. (1988). *Carta di restauro 1987: Carta della conservazione e del restauro degli oggetti d'arte di cultura*. Electa: Milano. 1988.

MCCLINTOCK, T.K., BIGRIGG, L., LACAMERA, D. (2015). Case study: conservation and restoration of a pair of large diameter English globes. *Journal of the Institute of Conservation*, 38 (1): 77-91. <https://doi.org/10.1080/19455224.2015.1007072>

MELGOSA, M., COLLADO-MONTERO, F.J., FERNÁNDEZ, E., MEDINA, V.J. (2015). Estudio colorimétrico de los azulejos del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 54(3): 1-10.

MELGOSA, M.; HITA, E.; ROMERO, J. & JIMÉNEZ DEL BARCO, L. (1992). Some classical color differences calculated with new formulas, *J. Opt. Soc. Am. A* 9: 1247-1254.

NAVARRO-MIGUEL, C. (2016). *Restauración cromática digital en obra gráfica*. Trabajo Fin de Grado. Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/2445/110311>

PELÁEZ-CASTILLO, A., REYES-GARCÍA, A., FIGUEROA-BERNAL, M. (2012). Cartel publicitario "Píldoras de vida del Dr. Ross" perteneciente al Museo del Objeto. Informe de los procesos de conservación y restauración. En B. Aguilar et al. (coord.), *Cinco carteles publicitarios del Museo del Objeto. Informe de los procesos de conservación y restauración*, México, STRDOGP-ENCRYM.17-34.

SÁNCHEZ-MARÍN, B. (2018). *Estudio de perdurabilidad en obra impresa contemporánea. Inyección de tinta, láser y offset*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Murcia.

SÁNCHEZ-MARÍN, B. (2019). *¿Cuánto me va a durar esta fotografía? La estabilidad del color en documentos impresos por inyección de tinta*. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Granada.

UNE-EN ISO 11664-4:2008. Colorimetría. Parte 4: Espacio cromático L*a*b* CIE 1976. Madrid, AENOR 2008. CIE (International Commission on Illumination). Publication 15:2004. *Colorimetry*, 3th Edition. CIE Central Bureau: Vienna, 2004.

Autor/es



Fernando Tudela Rodríguez

fertudelar@correo.ugr.es

Escuela Internacional de Posgrado,
Universidad de Granada (UGR)

<https://orcid.org/0000-0002-5990-2231>

Graduado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales (2021); ha realizado Máster en Producción e Investigación en Arte (2022) y actualmente se encuentra cursando un doctorado en Historia y Artes, en el programa de investigación de Restauración y Conservación de Bienes Patrimoniales, todo ello en la Universidad de Granada. En el desarrollo de su formación académica, disfrutó durante el Grado de una beca del Plan de Formación Interna UGR – Santander (2020-21) y, posteriormente, de una Beca de Iniciación a la Investigación para Estudiantes de Máster (2021-22). Sus Trabajos Fin de Grado y Máster, han versado acerca de la aplicación de técnicas de impresión contemporáneas como tratamiento de preservación y restauración de obra gráfica, investigaciones realizadas dentro de proyectos I+D+i, colaborando con el grupo de investigación Ciencia y Cultura del Patrimonio [HUM-1057] y los Departamentos de Pintura y Química Analítica de la Universidad de Granada. Su Trabajo Fin de Grado fue premiado por el Grupo Español del International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works con Segunda Mención de Honor en el Premio Joven de Investigación en Conservación-Restauración (2021). Así mismo, su Trabajo Fin de Máster fue realizado en colaboración con la Biblioteca Nacional de España y la Fundación Archivo Manuel de Falla de Granada, y el cual ha sentado las bases de su Tesis Doctoral. Premiado nuevamente por el Grupo Español del International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works con Primera Mención de Honor en la edición 2022. Su interés investigador está dirigido al registro de los bienes culturales por imagen digital, iniciando así su investigación en el análisis de la reproducción facsímil, física y virtual, como procedimiento de conservación del bien patrimonial. Parte de los resultados de su investigación han sido presentados mediante conferencia magistral invitada en seminarios de carácter internacional.



Domingo Campillo García

dcampillo@ugr.es

Departamento de Pintura, Universidad de Granada (UGR)

<https://orcid.org/0000-0001-9942-8346>

Doctor en Bellas Artes por la Universidad de Granada (2010), es Profesor Titular Universitario en el Dpto. de Pintura de la Universidad de Granada. Desde el estudio y el conocimiento de la práctica fotográfica, ha desarrollado una doble vertiente de especialización: una técnica, orientada a la optimización del registro fotográfico para la documentación científica de objetos del patrimonio cultural y otra, vinculada a procesos y desarrollos de la práctica artística que se concretan en exposiciones y/o publicaciones específicas. Ha venido participando regularmente en diferentes proyectos I+D+I relacionados con la conservación del patrimonio documental,

y colaborando con otros de distinto objeto entre los que destaca TOMODEC (REN2001-3833), a bordo del BIO Hespérides e Isla Decepción (Antártida). Ha participado en congresos y reuniones científicas y ha publicado artículos y monografías relacionadas con la práctica de la fotografía y la conservación del patrimonio artístico y documental. Actualmente es el responsable del Grupo de Investigación *Ciencia y Cultura del Patrimonio* [HUM-1057], es cofundador y miembro de la dirección editorial de la revista *SOBRE: Prácticas editoriales en arte y arquitectura*.



Teresa Espejo Arias

tespejo@ugr.es

Departamento de Pintura, Universidad de Granada (UGR)

<https://orcid.org/0000-0001-8081-559X>

Catedrática del Dpto. de Pintura de la Universidad de Granada. Su currículum docente y de investigación está directamente relacionado con la conservación y restauración del documento gráfico, material de archivo, libros y encuadernaciones así como de los materiales y de los procesos de ejecución mediante la aplicación de técnicas de análisis y el cuestionamiento y mejora de las técnicas y procedimientos para su conservación y restauración. Desde 1990 ha dirigido numerosos contratos con empresas y proyectos de investigación I+D+i de financiación pública para el estudio y restauración de documentos. Ha participado en gran cantidad de congresos y publicado monografías y artículos en revistas científicas tanto nacionales como internacionales relacionados con el tema. Ha participado activamente en la adaptación de los estudios de conservación y restauración al Espacio Europeo de Educación Superior con la creación del Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Granada, así como dirigido y coordinado estudios de Máster. Actualmente, asesora a diversas instituciones públicas y privadas en la elaboración de los protocolos de actuación y para la dotación y puesta en marcha de sus laboratorios de restauración, así como para el estudio y puesta en valor de sus respectivas colecciones documentales, coordina la especialidad de conservación y restauración de documentos y dirige el Secretariado de Conservación y Restauración de la Universidad de Granada.



Francisco José Collado-Montero

fcollado@ugr.es

Departamento de Pintura, Universidad de Granada (UGR)

<https://orcid.org/0000-0001-7714-2187>

Doctor en Bellas Artes por la Universidad de Granada. Profesor Titular de Universidad, Dpto. de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada, con docencia en el Grado en Conservación y Restauración de BBCC, del que ha sido Coordinador. Línea de investigación prioritaria en el estudio del color y otras características materiales de revestimientos arquitectónicos y objetos arqueológicos, así como en el análisis colorimétrico de los diversos materiales que integran los bienes culturales (cerámica vidriada,

pintura mural, materiales arqueológicos, documento gráfico...). Investigador del *Grupo del Plan Andaluz de Investigación HUM 1057 - Ciencia y Cultura del Patrimonio*. Autor de publicaciones en revistas científicas indexadas (*Sensors, Studies in Conservation, Restaurator, Color Research and Application, Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, Conservar Patrimonio, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio u Óptica Pura y Aplicada*, entre otras). Autor de libros y capítulos de libros y comunicaciones en congresos internacionales y nacionales. Participación en proyectos competitivos de I+D+i, como IP o CoIP (HAR2015-66139-*Estudio científico y tratamientos de conservación en revestimientos arquitectónicos de época romana a medieval*, MINECO, C-HUM-109-UGR23-*Técnicas digitales aplicadas a la reconstrucción/reintegración virtual y física (2D/3D) de bienes culturales: hacia un modelo de restauración sostenible*, Universidad de Granada y Junta de Andalucía, Programa Operativo FEDER Andalucía 2021-2027 y CEI2014-PCP6-*Análisis científico y ensayos para la reintegración material y cromática de los zócalos de alicatado del Patio de las Doncellas, Palacio de Pedro I, Real Alcázar de Sevilla*, CEI-BIOTIC) o miembro del equipo de investigación en otros. Investigador principal de contratos de investigación y prestación de servicios (I+D+i Nº 3764, OTRI-UGR; contrato de PS nº 2354-00, Fundación General UGR-Empresa). Investigador principal de Proyectos de Innovación Docente (PID 13-108, PID 10-98 y PID 08-168). Tramos de investigación: 2.

Artículo enviado 26/12/2023
Artículo aceptado el 14/10/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v26i1.1292>