



ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE IMÁGENES TRANSFERIDAS TRAMADAS

APLICACIÓN A LA REINTEGRACIÓN CROMÁTICA DE PINTURA MURAL

Alicia Durán González

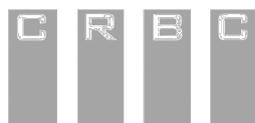
Tutores:

José Luis Regidor Ros

Juan Cayetano Valcárcel Andrés

Universitat Politècnica de València

2019-2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su inmensurable apoyo y confianza. Gracias por haberme dado las herramientas para perseguir mis sueños. Ante todo, sin vosotros esto no habría sido posible.

A mis tutores y al conjunto de docentes, técnicos e investigadores que a lo largo de estos años me han brindado toda su ayuda y experiencia, especialmente en estos momentos complicados en que han sabido adaptarse para que podamos seguir formándonos de la mejor manera posible.

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Máster se centra en profundizar en los avances logrados hasta la fecha en materia de imagen digital y su aplicación en el ámbito de la restauración de bienes culturales, así como un estudio de la viabilidad, estabilidad y permanencia de los materiales implicados en el sistema de transferencia de tintas *inkjet* mediante el soporte temporal Papelgel®.

Este trabajo se enmarca dentro los estudios llevados a cabo por el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la *Universitat Politècnica de València* en materia de reintegración cromática asistida por medios digitales mediante impresiones *inkjet* y transferencia para pintura mural, enfocados a sistematizar una metodología de trabajo basada en el uso de herramientas digitales que permita una reconstrucción formal y cromática más objetiva.

Uno de los aspectos claves de este sistema de reintegración es que permite adaptar los procedimientos a las diferentes casuísticas y problemáticas que podemos encontrar en obras de diversa naturaleza. En concreto, esta investigación se ha enfocado a experimentar con las ventajas de la transferencia tramada, que evita generar un *film* superficial continuo.

Palabras clave: Reintegración cromática, *inkjet*, transferencia, pintura mural, imagen digital

ABSTRACT

This Master's Degree Final Project exposes the developments achieved thus far in digital imaging systems and their application in the field of conservation of cultural heritage, as well as a study of the viability, permanence and stability of the materials involved in the inkjet prints transfer system by using the temporary support Papelgel®.

The present research is framed into the studies conducted by the Conservation and Restoration Department of the *Universitat Politècnica de València* in terms of digitally-assisted paint reintegration using inkjet prints and transfers on mural paintings, which aims to systematize a new methodology based on the use of digital tools to achieve more objective results.

One of the key features of this system is that enables to adapt procedures to the many different casuistry and issues that we can find in artworks of all different nature. Specifically, this research has focused on testing and analyzing the advantages of the application of the transfer through an open-weave serigraph screen, so avoiding the generation of a film over the pictorial's surface.

Keywords: Paint reintegration, inkjet, transfer, mural painting, digital image

ÍNDICE

1. Introducción.....	4
2. Objetivos	6
3. Metodología	7
4. Revisión de los principales sistemas de impresión y transferencia de imagen digital	8
4.1. Sistemas de impresión digital	8
4.2. Sistemas de transferencia de impresiones digitales.....	11
5. Reconstrucción estética generada por imagen digital: una nueva metodología de trabajo apoyada en herramientas digitales	13
6. Antecedentes del empleo de transferencias de impresiones digitales en pintura mural	21
6.1. La transferencia de impresiones digitales en el ámbito de la creación artística	21
6.2. Reproducciones facsímiles de obras	21
6.3. Intervenciones de restauración de bienes culturales asistidas por medios de impresión digital y transferencia	25
7. Experimentación	29
7.1. Elaboración de las probetas	31
7.1.1. Preparación de la superficie	32
7.1.2. Gestión del color y perfilado de las probetas	33
7.1.3. Impresión y transferencia	36
7.2. Pruebas de brillometría.....	42
7.3. Comportamiento hídrico superficial mediante ensayos de absorción	44
7.4. Pruebas de envejecimiento acelerado.....	49
7.4.1. Ensayo de permanencia de las tintas frente a envejecimiento acelerado en cámara UV ..	51
7.4.2. Brillometría	56
8. Conclusiones.....	57
Anexo	64

1. INTRODUCCIÓN

La reintegración cromática de faltantes en obras de valor artístico ha sido, desde los inicios de los tratamientos enfocados a la restauración de bienes culturales, motivo de estudio y debate. Este tipo de intervenciones tienen como objetivo la reconstrucción formal de aquellas zonas en las que la imagen ha sido parcial o totalmente dañada. Se trata de una intervención bastante habitual, pero quizás de las más delicadas y comprometidas al estar directamente vinculada con los valores artísticos y la legibilidad de la obra.

Los tratamientos de reintegración cromática, tradicionalmente y en su mayoría, se han llevado a cabo de forma manual. En las pasadas décadas hemos visto como los profesionales de la conservación-restauración han tratado de consensuar ciertas pautas de buena praxis para lograr unificar criterios y alcanzar intervenciones más respetuosas con las obras, el público y los propios restauradores. No obstante, pese a que en el plano teórico puede resultar factible establecer unos criterios deontológicos universales, su aplicación práctica resulta de lo más dispar puesto que al tratarse de un proceso manual es inevitable cierta subjetividad ligada a la destreza del interventor, los criterios en cuanto a la metodología y a las propias características de cada obra.

La irrupción de grandes avances en materia digital que se han ido dando en los últimos años, han permitido experimentar con nuevas metodologías de trabajo en el campo de la restauración. En lo que corresponde al ámbito de la reconstrucción estética, las cada vez más precisas herramientas de captura, tratamiento e impresión de imagen digital han logrado plantear una alternativa viable a la reintegración cromática manual. Gracias a la implantación de esta metodología, podemos hablar de unos resultados más precisos a nivel formal y cromático, unos criterios de objetividad mucho más fiables, una mayor facilidad de aplicación y una innegable gestión de recursos y tiempo más eficiente.

La reintegración asistida por medios digitales ya ha sido empleada en obras de diversa tipología, como pinturas sobre lienzo o pinturas murales. Es en este último tipo de obras en las que la reconstrucción estética generada por imagen impresa digital (REGIID), desarrollada por el Instituto de Restauración del Patrimonio (IRP) de la *Universitat Politècnica de València* se perfila como una excelente alternativa. Y es que en algunas intervenciones de pintura mural la reintegración manual puede resultar un reto debido a las dimensiones, porcentajes y complejidad de los faltantes. El presente trabajo final de máster se plantea como una revisión de los avances logrados hasta la fecha en materia de imagen digital y su aplicación en trabajos de restauración de bienes culturales, así como un estudio de la viabilidad, estabilidad y permanencia de los materiales implicados en el proceso de integración de la imagen digital en reconstrucciones de obra mural. Se van a abordar cuestiones como el tránsito de la imagen virtual a su materialización física, los diversos sistemas digitales de impresión digital disponibles en la actualidad, el protocolo metodológico que define el sistema REGIID y una breve revisión de casos en los que los medios digitales han servido para materializar propuestas museográficas y labores de

restauración de bienes culturales. Gracias a la versatilidad de este sistema, que permite adaptar los procedimientos a las casuísticas específicas que podemos encontrar en obras de diversa tipología, se ha realizado una experimentación enfocada a valorar las ventajas y evaluar la permanencia de la reintegración mediante transferencia tramada, que evitaría generar un *film* superficial continuo en superficies porosas.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo de final de máster es evaluar la estabilidad del sistema de reintegración mediante transferencia tramada de una imagen generada por medios digitales aplicado a las intervenciones en pintura mural. Para ello se han perseguido una serie de objetivos específicos:

- Evaluar los avances y contribuir a la viabilidad del sistema de reconstrucción estética asistida por medios digitales aplicado a la restauración de pintura mural.
- Identificar las posibilidades y carencias de este sistema de reintegración
- Evaluar la influencia y alteración de las propiedades físicas del material original que suponen las reconstrucciones estéticas realizadas mediante transferencia de tintas *inkjet*.
- Determinar la compatibilidad estética de las transferencias con los materiales pictóricos originales de una pintura mural.
- Evaluar el comportamiento y acabado de las transferencias tramadas como alternativa frente a las transferencias continuas.
- Evaluar de la permanencia y estabilidad de las tintas empleadas en los procesos de reintegración por transferencia de imagen digital.
- Sistematizar una metodología de creación de perfiles ICC para soportes.

3. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo para el desarrollo de este Trabajo Final de Máster se divide en dos bloques principales:

1. Estudio teórico de la cuestión:
 - Revisión de los principales sistemas de impresión digital y transferencia.
 - Estudio de los antecedentes y evolución en el uso de impresiones digitales y transferencias en el ámbito artístico y de la conservación de bienes culturales.
 - Revisión de los avances realizados en el contexto de la restauración de bienes culturales, centrándonos en la reintegración asistida por medios digitales en el ámbito de la pintura mural, y sus limitaciones actuales.
 - Análisis de los procesos y metodología general del sistema de reconstrucción estética generada por imagen digital.
2. Desarrollo del caso práctico:
 - Recopilación y revisión bibliográfica.
 - Selección de los materiales más adecuados para una reintegración mediante transferencia aplicada a las intervenciones en pintura mural.
 - Fabricación de probetas con diferentes materiales y técnicas de transferencia.
 - Creación de un perfil de color ICC ajustado a las propiedades ópticas de un mortero de reintegración volumétrica de pintura mural aplicado a un caso práctico.
 - Experimentación para evaluar el comportamiento y resultados ofrecidos por los diferentes sistemas de aplicación de transferencias en cuanto a su influencia en la permeabilidad del mortero, propiedades ópticas y compatibilidad estética con una pintura mural original.
 - Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar la estabilidad y permanencia de los materiales implicados en el sistema de reintegración por transferencia mediante la medición de parámetros como el índice de absorción, el brillo o la alteración del color.
 - Documentación gráfica de todo el proceso.
 - Discusión de resultados y conclusiones

4. REVISIÓN DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE IMPRESIÓN Y TRANSFERENCIA DE IMAGEN DIGITAL

4.1. SISTEMAS DE IMPRESIÓN DIGITAL

Las primeras impresoras digitales de imágenes¹ se remontan a 1989, con el desarrollo por parte de *Iris Graphics Inc.* de la impresora por inyección de tinta *Iris 3047*². Este primer dispositivo permitía imprimir formatos relativamente grandes para la época (DIN A0), pero las tintas disponibles en aquel momento tenían muy baja estabilidad frente a la luz^{3 4}. 30 años después, las posibilidades de la impresión digital se han ampliado infinitamente, englobando un conjunto de dispositivos, técnicas, materiales, aplicaciones y consumidores de toda índole. Por el momento ninguno de estos sistemas ha sido diseñado específicamente para su implementación en el ámbito de la conservación y restauración de bienes culturales, sino para responder principalmente a las necesidades de la industria gráfica, cuyos requerimientos no son los mismos que para los trabajos de nuestro ámbito de estudio. Ante tantas posibilidades, resulta necesario realizar una breve revisión de los principales sistemas de impresión digital sin impacto⁵ actuales, tratando de diseccionar las características y propiedades esenciales de cada uno para determinar su viabilidad como sistema de reconstrucción estética de faltantes en bienes de interés cultural.

¹ Las primeras impresoras digitales se desarrollaron a mediados del siglo XX, pero solo eran capaces de imprimir caracteres de texto y números.

² WHITE, Garrett. Nash Editions: Fine Art Printing on the Digital Frontier. En: *Digital Journalist*. Austin, EE.UU.: Digital Journalist, 2001. Issue 0105. [Consulta:03-2020] Disponible en: http://digitaljournalist.org/issue0105/nash_intro.htm

³ Una impresión enmarcada realizada por la *Iris 3047* con tintas *Iris ID Inks* presentaba una permanencia de entre 1,4 - 4 años, dependiendo del papel empleado. Fuente: WILHELM, Henry. A 15-year history of digital printing technology and print permanence in the evolution of digital fine art photography—from 1991 to 2006. En: *En NIP & Digital Fabrication Conference*. Virginia, EE.UU.: Society for Imaging Science and Technology, 2006. p. 310.

⁴ WILHELM, Henry. A 15-year history of digital printing technology and print permanence in the evolution of digital fine art photography—from 1991 to 2006. En: *En NIP & Digital Fabrication Conference*. Virginia, EE.UU.: Society for Imaging Science and Technology, 2006. p. 308-315.

⁵ Las impresiones sin impacto o *Non Impact Technologies* (NIP) se diferencian de otras tecnologías de impresión digital que crean la imagen mediante el impacto de un elemento sobre una cinta o similar con tinta de tal manera que ésta quedaba transferida al soporte.

Termografía, sublimación o impresiones térmicas

Utilizan el calor como medio transmisor y la imagen se forma por una reacción química de las tintas termoplásticas. Por tanto, estas impresiones precisan de un soporte especial sensible al calor. Su uso en la actualidad no está muy extendido como medio de reproducción. En general, estas impresiones van cayendo en desuso por el gasto de tinta que implican, por la necesidad de utilizar soportes especialmente preparados y por la alta inestabilidad ante el calor que presentan^{6 7}.

Xerografía, ionografía o electrofotografía de tóner

También conocidas popularmente como impresiones láser, emplean tintas de naturaleza termoplástica y la impresión se produce mediante un complejo sistema en el que intervienen diversos mecanismos físicos. La imagen impresa forma una lámina sobre el soporte. El componente mayoritario de estas tintas es una resina termoplástica que funciona como aglutinante^{8 9}.

Magnetografía

Se basa en las propiedades magnéticas de ciertos materiales para general la impresión. La superficie de transferencia es un tambor magnetizable en el cual se forma la imagen y, en este caso, la tinta tiene la peculiaridad de ser magnética, por lo que se fija en las zonas magnetizadas. El problema asociado a esta técnica es que las partículas magnéticas presentes en la formulación de las tintas suelen contener óxido de hierro, elemento de fuerte opacidad, por lo que no es posible conseguir una saturación adecuada de colores equivalente a la de otros sistemas de impresión a color y además se pueden generar cambios poco controlables en las superposiciones de los colores obteniendo efectos no deseados¹⁰.

⁶ PRINTER BASE. *How does a thermal printer work?*, 2018 [Consulta 03-2020]. Disponible en: <https://www.printerbase.co.uk/news/how-does-a-thermal-printer-work/>

⁷ WILLIAM, Eldward. *How Do Thermal Printers Work?*, 2019 [Consulta 03-2020] Disponible en: <https://castleink.com/blogs/printer-help/how-do-thermal-printers-work>

⁸ JÜRGENS, Martin C. *The digital print: Identification and preservation*. Los Ángeles, EE.UU.: Getty Publications, 2009. p. 60

⁹ PASTOR, Jesús y ALCALÁ, José R. *Procedimientos de transferencia en la creación artística*. Pontevedra: Diputación Provincial de Pontevedra, Servicio de Publicaciones, 1997. pp. 17-21

¹⁰ GARCÍA JIMÉNEZ, Jesús. *Impresión Digital*. Barcelona: Ediciones CPG, 2015. pp. 32-33

Air-brush system o impresiones aerográficas

Esta técnica de reciente desarrollo podría describirse a grandes rasgos como un aerógrafo programado digitalmente. Permite imprimir imágenes en grandes formatos sobre una gran variedad de soportes y emplear tintas pigmentadas de alta calidad. No obstante, la dispersión de la tinta propia de esta herramienta podría suponer un inconveniente a la hora de trabajar en pequeños formatos. En cualquier caso, su uso en la actualidad está reducido a la industria debido al gran desembolso económico que todavía suponen estos dispositivos, aunque el constante desarrollo de pequeños dispositivos robotizados augura una favorable evolución y acercamiento de estos sistemas al pequeño consumidor^{11 12}.

Impresiones *Inkjet*, de chorro de tinta o de inyección de tinta

La impresión se basa en la proyección de pequeñas partículas de tinta líquida sobre el soporte, cada una con un diámetro de entre 10-100 μm ¹³. Como las tintas son fluidas, penetran en el soporte y polimerizan tras la evaporación, sin necesitar un estrato especial receptor de las tintas, por lo que mediante la tecnología *inkjet* es posible imprimir sobre casi cualquier superficie mínimamente porosa. Es, hoy en día, la técnica de impresión más generalizada en diferentes ámbitos ya que presenta una gran versatilidad, resolución y buena reproducción del color, además de ser una técnica de reproducción bastante económica. Esto ha provocado que se convierta en el sistema de impresión digital más utilizado en la producción artística, la industria gráfica, impresión de publicidad e incluso en impresiones domésticas. La tinta *inkjet* tiene un componente acuoso mayoritario que supone entre un 60% y un 90% del peso total de la tinta, aunque su composición suele variar en función del fabricante y del soporte y finalidad de la impresión. Pese a que las primeras tintas empleadas se basaban en tintes orgánicos muy solubles al agua y altamente sensibles a la luz, en la actualidad existen tintas pigmentadas de alta calidad que presentan una buena estabilidad frente a la luz y buena resistencia a la humedad¹⁴.

¹¹ RICOH DIGITAL PAINTING. *Vehicle Art Robo*. 2019 [Consulta 04-2020] Disponible en: <http://www.ricoh-digitalpainting.com/en/products/>

¹² BAUMGARTNER TRADING AG. *Michelangelo 3D ArtRobo. Digital Airbrushing and Printing Systems*. 2018 [Consulta 04-2020] Disponible en: <http://www.baumgartner-trading.com/de/Print-Systems/Michelangelo-ArtRobo-English-Brochure.33.html>

¹³ HOATH, Stephen D. *Fundamentals of inkjet printing: the science of inkjet and droplets*. Nueva Jersey, EE.UU.: John Wiley & Sons, 2016. p. 21

¹⁴ VOGT, Barbara. *Stability Issues and Test Methods for Inkjet Materials*. C. Blendl y M. Reilly (dir.). Tesis doctoral, Department of Image Engineering, University of Applied Science, Colonia, Alemania, 2001

4.2. SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE IMPRESIONES DIGITALES

Los soportes temporales de transferencia tienen como misión “sostener la imagen generada mediante la superposición de tintas hasta su ubicación en el soporte definitivo”¹⁵, es decir, son materiales imprimibles que permiten sustentar las tintas hasta su emplazamiento definitivo sobre aquellos objetos que no permiten una impresión directa. Las características de los diferentes sistemas de transferencia de impresiones digitales radican en la formulación y modo de empleo de los soportes utilizados. Existen numerosos productos comerciales destinados a este fin, de modo que solo destacaremos algunos ejemplos con distintas formulaciones y métodos de aplicación:

Transferencias térmicas

Estos sistemas se basan en un adhesivo termofusible que sustenta las tintas, que se transfieren a su nuevo soporte mediante la aplicación de calor y presión. Son el soporte para transferencias de tintas *inkjet* más empleado por su versatilidad, facilidad de uso y bajo coste, ya que permiten realizar transferencias en multitud de soportes, siendo su uso sobre prendas textiles muy extendido. No obstante, no resultan apropiadas como sistema de reintegración estética en bienes culturales ya que son poco estables a la temperatura, forman un *film* en superficie que altera las propiedades físicas de los materiales y necesitan de la aplicación de calor para poder realizar la transferencia, algo que no es posible ni recomendable en todas las obras¹⁶.

Lazertran ®

Es un soporte laminar compuesto por un adhesivo polimérico en estado seco y un *coating* o estrato receptor de la tinta de color blanco, sobre el que las tintas quedan sustentadas al realizar la impresión; y un papel que funciona como refuerzo y se retira al entrar en contacto con agua. La transferencia se realiza reactivando el adhesivo polimérico mediante disolventes apolares, que queda adherido al nuevo soporte englobando la tinta. Inevitablemente, la aplicación de este material supone la formación de una capa filmógena en la superficie.

¹⁵ REGIDOR ROS, José Luis. Capítulo XVI, Impresiones digitales sobre soportes temporales: Nuevas soluciones para la reintegración o reproducción de murales. En: SHANK, Will; FUSTER LÓPEZ, Laura y SÁNCHEZ PONS, Mercedes. *Conservation Issues in Modern and Contemporary Murals*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge Scholars Publishing, 2015. pp. 260-273

¹⁶ REGIDOR ROS, José Luis et al. Transferencia de impresiones Ink Jet, una herramienta para la reconstrucción pictórica de faltantes. En: *Arché*. Valencia, Editorial UPV, 2008, nº 3. pp. 33-42. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31394/2008_03_033_042.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Además, un estudio experimental ha revelado que tiene dificultades para adaptarse a texturas e irregularidades, su aplicación es muy complicada en formatos medianos o grandes y el adhesivo polimérico de su composición se deteriora rápidamente dejando la capa pictórica arenosa y fácil de desprender^{17 18}.

Papelgel®

Es un material copolímero laminar, flexible, imprimible e inocuo que permite sustentar las impresiones realizadas mediante sistema *inkjet*. Aunque en seco presenta un aspecto algo rígido, similar a un papel de impresión fotográfica, al humedecerse se convierte en un material bastante elástico, de modo que permite que la transferencia se adapte a volúmenes y superficies irregulares. Este material fue desarrollado por la empresa Arsus Paper, tras años de investigación en colaboración con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Grupo de Ingeniería de Materiales (GEMAT) del Instituto Químico de Sarriá (IQS) y el apoyo del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) con el objetivo de crear un material innovador que ampliase las posibilidades del uso de la imagen fotográfica en el mundo del arte, permitiendo la reproducción fidedigna de obras de arte de cualquier naturaleza a partir de su imagen fotográfica¹⁹.

Tattoowall

Dentro de esta marca se engloban una serie de productos destinados a la transferencia de tintas *inkjet* sobre superficies murales. A grandes rasgos, su funcionamiento se basa en la combinación de un papel imprimible y la posterior incorporación de coatings elastificantes y adhesivos receptores de las tintas que permiten adaptar las transferencias a superficies murales con irregularidades de hasta 7-8mm. Este producto se ha utilizado en proyectos de restauración de pintura mural y en la decoración de espacios arquitectónicos y superficies murales, especialmente en Italia, país en el que ha sido desarrollado. No obstante, uso implica la utilización de materiales tóxicos para los usuarios y muy agresivos sobre algunos materiales, especialmente textiles. Además, para lograr transferir correctamente las tintas resulta imprescindible recurrir a coatings que pueden modificar drásticamente la apariencia y permeabilidad del soporte receptor²⁰.

¹⁷ ROSALENY MADERO-CANDELAS, Alba. *Transferencia de impresiones inkjet para reintegración de pintura sobre lienzo: Estudios de compatibilidad*. Regidor Ros, Martín Rey y Valcácer Andrés (dir.). Trabajo final de máster, Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València, 2011. pp. 33-35.

¹⁸ REGIDOR ROS, José Luis *et al.* 2008. *Op. Cit.* p.40

¹⁹ ARSUS PAPER. *Papelgel*. [Consulta 02-2020] Disponible en: <https://arsuspaper.com/papelgel/>

²⁰ TATOOWALL. *TattooWall*. [Consulta 02-2020] Disponible en: <http://www.tattoowall.es/web/>

5. RECONSTRUCCIÓN ESTÉTICA GENERADA POR IMAGEN DIGITAL: UNA NUEVA METODOLOGÍA DE TRABAJO APOYADA EN HERRAMIENTAS DIGITALES

En su intento por lograr un sistema de reintegración formal y cromática con un menor riesgo de interpretación subjetiva que en los tradicionales procesos manuales, el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València (IRP) lleva años investigando y desarrollando una alternativa sustentada en la imagen digital: la reconstrucción estética generada por imagen digital, también denominada por su acrónimo REGIID, presentada en el Congreso Internacional de Restauración de Pinturas sobre Lienzo de Gran Formato celebrado en Valencia en 2010²¹. En líneas generales, este sistema se basa en la imagen fotográfica como el acercamiento más fiel a la obra original, y permite trasladar a soportes físicos las reconstrucciones virtuales generadas desde los *softwares* de tratamiento digital de imágenes²².

No se trata de un procedimiento concreto, sino más bien de un sistema que engloba una metodología muy versátil y variable dependiendo de las características de la obra a intervenir, la disponibilidad de referencias gráficas o fotográficas y la adecuación práctica al sistema de montaje final y los materiales que en él intervienen. Pese a que los procesos pueden ser algo diferentes en función de la obra y sus características, es imprescindible subrayar que este sistema debe cumplir las mismas exigencias que cualquier intervención realizada sobre un bien cultural: estabilidad, inocuidad y reversibilidad^{23 24}. Existen cuatro fases esenciales en el sistema REGIID:

Obtención del material fotográfico de referencia

La imagen de referencia puede extraerse de diferentes fuentes, actuales o históricas, como pudieran ser fotografías o negativos. El proceso de obtención de la imagen se realiza empleando un equipo de fotografía digital, pudiendo recurrirse también al uso de escáneres como medio de digitalización de la imagen. A la hora de realizar el registro fotográfico de referencia es imprescindible la medición cromática y el ajuste de la iluminación para poder capturar la imagen

²¹ MARTÍN REY, Susana; GUEROLA BLAY, Vicente y CASTELL AGUSTÍ, María. *Actas del Congreso Internacional de Restauración de Pinturas sobre Lienzo de Gran Formato*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2010.

²² REGIDOR ROS, José Luis *et al.* 2008. *Op. Cit.* p. 34

²³ MERCADO HERVÁS, Marina S. Técnicas y procedimientos de reintegración cromática. En: *Cuadernos de restauración: publicación sobre conservación y restauración de bienes culturales*. Sevilla: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Bellas Artes de Andalucía, 2009, vol. 7, pp. 5-12. [Consulta: 04-2020] Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64512/Marina%20Mercado%20Herv%C3%A1s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

²⁴ REGIDOR ROS, José Luis. Las impresiones *inkjet* en los procesos de restauración de obras de arte. En: *Actas del XV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Murcia, 2004. Murcia: Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia, 2004. pp. 1005-1010.

de la manera más veraz posible, ya que este proceso condicionará en su totalidad los resultados de la reintegración²⁵.

Tratamiento digital de la imagen y gestión del color

Una vez adquirida la imagen de referencia será necesario procesarla y rectificarla para que la nueva imagen virtual acople perfectamente con la obra a reintegrar (*Figs. 1 y 2*). Estos procesos suelen basarse en el escalado, enderezado y rectificación de la perspectiva o deformaciones que puedan darse en el proceso de fotografiado, empleando un *software* de edición digital de imagen.

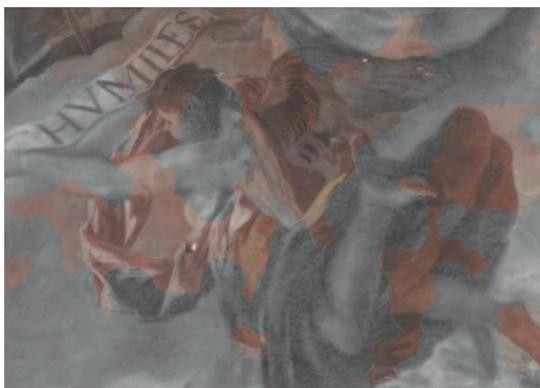


Figura 1. Proceso de reconstrucción cromática de las pinturas de la Iglesia de los Santos Juanes. Fuente: REGIDOR ROS, José Luis



Fig. 2. Proceso de reconstrucción cromática de las pinturas de la Iglesia de los Santos Juanes. Fuente: REGIDOR ROS, José Luis

Otra clave para lograr el éxito en una reintegración es el ajuste cromático. Mientras que en las reintegraciones tradicionales este proceso se basa nuevamente en el criterio y pericia del restaurador, ajustando los colores de forma que el ojo humano los encuentre miméticos, en la reintegración asistida por medios digitales el color también se convierte una referencia digital que podemos controlar con enorme precisión. En este caso, tanto en el proceso de captura como de edición y reproducción, trabajamos con herramientas digitales: lo que para el ojo humano solo es una noción de percepción visual subjetiva, imprecisa e incuantificable, para los dispositivos digitales es un “lenguaje” objetivo basado en valores digitales: precisos, cuantificables y universales. El problema radica en cómo traducir el lenguaje de los periféricos de entrada (RGB) al de los periféricos de salida (CMYK), incluyendo la variante del blanco de base (el tono de la superficie sobre el que irán estos colores), para que el resultado del color de la imagen final

²⁵ VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano; REGIDOR ROS, José Luis, BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. Reconstrucción estética generada por imagen impresa digital (REGIID). Aplicación a la obra "La Glorificación de San Francisco de Borja", sita en la Galería Daurada del Palau Ducal de Gandía. En: *Arché*, 2010, nº 4-5. pp. 169-174. Valencia: Editorial UPV, 2010.. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/30754/2010_04-05_169_174.pdf?sequence=1

reproducida sea el mismo que el de la obra a imitar²⁶. Por ende, la necesidad de tener el control del color durante todo el proceso de digitalización, tratamiento e impresión final, y de encontrar una correspondencia exacta entre la pintura original y su reproducción digital hace inevitable recurrir a la gestión de color, que supone dotar a la imagen digital de un perfil de color específico para un soporte determinado, que en última instancia pueda ser interpretado por la impresora y ésta sea capaz de reproducir los colores lo más fielmente posible²⁷. La gestión del color se realiza empleando dispositivos como calibradores y espectrofotómetros, que permiten medir y gestionar el color en todas las fases del proceso. Este tipo de dispositivos suelen venir acompañados por un *software* asociado que, en última instancia, permite crear perfiles de color específicos para cada trabajo.

Sistema de impresión digital: las impresiones *inkjet*

A la hora de trasladar al plano material e integrar la imagen generada con los fragmentos originales, el sistema de impresión digital más adecuado para la reconstrucción estética de faltantes en obra pictórica es la impresión digital *inkjet*. La idoneidad de este sistema de impresión, además de sus características técnicas, radica en su versatilidad: al ser el sistema de impresión más demandado, está en constante desarrollo y mejora tanto en la calidad de las imágenes obtenidas como en la permanencia de sus impresiones. Además, como las gotas de tinta se depositan en estado líquido, es posible imprimir sobre gran cantidad de soportes (Figs. 3 y 4).

Por tanto, se trata de un sistema de impresión bastante versátil en cuanto a formatos y soportes admitidos^{28 29 30}, su uso a nivel doméstico, comercial e incluso industrial es bastante extendido³¹,

²⁶ BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. *Reconstrucción de pintura mural mediante impresión directa con sistemas InkJet robotizados*. Roig Picazo, Regidor Ros, Ceccarelli (dir.). Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, 2014. p. 158

²⁷ VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano; REGIDOR ROS, José Luis, BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. 2010.. *Op. Cit.* p. 171

²⁸ *Ibid.* p.169

²⁹ BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. 2014. *Op. Cit.* p.86

³⁰ ARANGO, Iván *et al.* Impresión digital Inkjet sobre formas cilíndricas con tintas UV. En: *Revista de Investigación Interdisciplinaria: Grupo de trabajo en nuevas tecnologías de diseño y manufactura-automatización*, 2015, nº5. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2015, pp. 109-121. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Valentina_Ramirez_Hernandez/publication/296707252_Propuesta_en_el_secuenciamiento_de_actividades_en_la_integracion_del_ecodiseño_y_diseño_para_remanufacturar/links/56da29c308aeb4638bba109.pdf#page=109

³¹ HUTCHINGS, Ian. Impresión por chorro de tinta para la decoración de baldosas: Tecnología y oportunidades. En: *World Congress on Ceramic Tile Quality*, Castellón, 2010. [Consulta 04-2020] Disponible en: <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2010233.pdf>

es ampliamente empleado en la industria gráfica y en creación artística^{32 33}, e incluso se han obtenido excelentes resultados en la reproducción de facsímiles de obras de arte^{34 35 36}; además de presentar buenos resultados en cuanto a estabilidad con tintas pigmentadas, como las HP Vivera Ink®³⁷ demostrados en estudios independientes³⁸, que igualarían en estabilidad cromática a las acuarelas empleadas en los métodos de reintegración tradicionales^{39 40 41 42}.

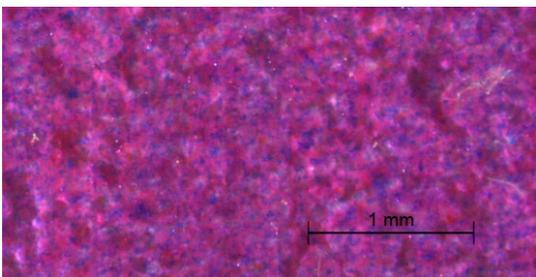


Fig. 3. Aspecto de una impresión *inkjet* bajo observación mediante lupa binocular

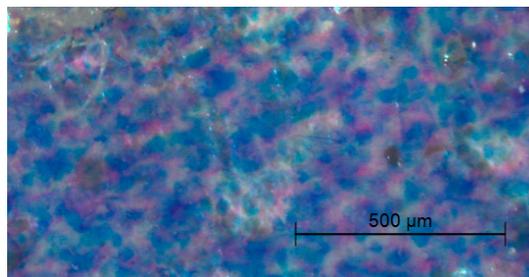


Fig. 4. Aspecto de una impresión *inkjet* bajo observación mediante lupa binocular

³² RUIZ DE DIEGO, Sara; MUÑOZ VIÑAS, Salvador y ANTÓN GARCÍA, Ester. Técnicas modernas de impresión en la creación artística contemporánea: xerografía vs. Inkjet. En: *Conservación de Arte Contemporáneo*, 17ª jornada, 2016. Madrid: Museo Reina Sofía, 2016, pp. 129-139. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://www.academia.edu/36059079/T%C3%A9cnicas_modernas_de_impresi%C3%B3n_en_la_creaci%C3%B3n_art%C3%ADstica_contempor%C3%A1nea_xerograf%C3%ADa_vs._inkjet

³³ MOLINA GUIXOT, Claudia. La Creación Artística Digital: Procesos de Transferencia Inkjet. En: *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*, Valencia, 2017. Valencia: Editorial UPV, 2017, pp. 467-475 [Consulta 04-2020] Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ANIAV/ANIAV2017/paper/viewFile/4875/2724>

³⁴ VISA, Lluís. Un retablo de papel. *El País*. 29 de agosto de 2009. [Consulta: 04-2020] Disponible en: https://elpais.com/diario/2009/08/29/catalunya/1251508046_850215.html

³⁵ ARSUS PAPER. *Arsus Taller: Tutankamón. La primera reproducción exacta de las pinturas de la tumba de Tutankamón*. 2012 [Consulta: 02-2020] Disponible en: <https://arsuspaper.com/pintura-mural/tutankamon/>

³⁶ FACTUM ARTE. *Facsimile of Queen Maria Luisa On Horseback (1799) by Francisco de Goya*. 2018. [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://www.factum-arte.com/pag/recording-facsimile-reina-maria-luisa>

³⁷ Las impresiones realizadas en el Instituto de Restauración del Patrimonio para diferentes experiencias se han realizado empleando la impresora HP DesignJet Z3200 y las tintas HP Vivera Ink®.

³⁸ Estas tintas mostraron una durabilidad de más de 250 años en condiciones de interior, además de ser altamente resistentes a la humedad. Fuente: WILHELM IMAGING RESEARCH. *HP Designjet Z3200 and HP Vivera Pigment Inks*. [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://www.wilhelm-research.com/hp/Z3200.html>

³⁹ LO MONACO, Angela. Colour measurements of surfaces to evaluate the restoration materials. En: *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology*, Vol. 8084. San Francisco, EE.UU.: International Society for Optics and Photonics, 2011.

⁴⁰ PELOSI, Claudia *et al.* A methodological approach to study the stability of selected watercolours for painting reintegration, through reflectance spectrophotometry, Fourier transform infrared spectroscopy and hyperspectral imaging. En: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier, 2018. pp. 92-106.

⁴¹ SÁNCHEZ ORTÍZ, Alicia *et al.* Investigación sobre la estabilidad química y óptica de materiales contemporáneos para reintegración cromática. En: *IV Congreso del GEIIC*, Cáceres, 2009. Madrid: GEIIC, 2009. pp. 195-205.

⁴² SÁNCHEZ ORTÍZ, Alicia; MICÓ BORÓ, Sandra. *Colores comerciales para retoque pictórico de lagunas en restauración del patrimonio: Evaluación de diferencias de color y cambios de solubilidad después de procesos de envejecimiento acelerado*. En: *IX Congreso Nacional del Color*. Alicante, 2010. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2010. pp. 132-135.

En esta línea, en la *Universitat Politècnica de València* se han llevado a cabo diferentes estudios experimentales para comprobar la viabilidad de los sistemas de impresión digital *inkjet* como técnica de reintegración pictórica, centrados tanto en los principios esenciales de estabilidad fisicoquímica como en la compatibilidad estética con la obra original. Las investigaciones llevadas a cabo han desvelado que las tintas pigmentadas son las que presentan una mayor estabilidad y resistencia, en algunos casos por encima de los materiales tradicionalmente empleados (acuarela o *gouache*), por lo que estos sistemas se pueden considerar suficientemente estables como para ser empleados en procesos de reintegración cromática.^{43 44}

Los buenos resultados obtenidos en las experiencias realizadas en laboratorio han propiciado el uso de impresiones *inkjet* en las intervenciones del Teatro Leal de La Laguna en Tenerife⁴⁵ (Figs. 5 y 6), la Iglesia de los Santos Juanes en Valencia⁴⁶, el *Palau Ducal* de Gandía⁴⁷ o la Iglesia de San Nicolás en Valencia⁴⁸.



Fig. 5. Reconstrucción del *marouflage* de López Ruiz en el Teatro Leal de La Laguna, Tenerife. Fuente: VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano



Fig. 6. Detalle de la reconstrucción del *marouflage* de López Ruiz en el Teatro Leal de La Laguna, Tenerife. Fuente: VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano

⁴³ SÁNCHEZ PONS, Mercedes. *Revisión de criterios técnicos y teóricos en torno a la reintegración de pintura mural al fresco. Aplicación en las pinturas murales de A. Palomino en la bóveda de la nave central de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. Bosch Reig (dir.) Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. 2002. pp. 181-185.

⁴⁴ REGIDOR ROS, José Luis. *Estabilidad, protección y aceptación de las protecciones Ink Jet en procesos de creación y conservación de obras de arte*. Roig Picazo y Martínez Bazán (dir.) Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. 2003. p. 249.

⁴⁵ REGIDOR ROS *et al.* 2008. *Op Cit.* p. 35.

⁴⁶ REGIDOR ROS, José Luis. Puesta en práctica de soluciones propuestas para las pinturas arracadasde Palomino en la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia. En: *Actas del XVIII Congreso Internacional Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Granada, 2011. Granada: Universidad de Granada, 2011. pp. 524-527.

⁴⁷ VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano; REGIDOR ROS, José Luis, BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. 2010. *Op. Cit.* p. 169-174

⁴⁸ TORREGROSA VERDEJO, Marta. *Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de Valencia*. Regidor Ros y Valcárcel Andrés (dir.) Trabajo final de máster, Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València. 2016.

Sistema de integración de la imagen virtual con los fragmentos originales en obra mural

Para que la imagen impresa quede correctamente integrada es imprescindible adaptar la impresión a la materialidad y a las propiedades organolépticas de la obra original, como serían la textura o el brillo. Estas características vienen dadas por los materiales y técnicas empleados en la pintura original, pudiendo darse acabados totalmente distintos en una pintura al óleo sobre lienzo o en una pintura mural al fresco. La integración con los fragmentos originales se puede lograr de dos formas: mediante la impresión directa sobre un soporte de características acordes a la obra original que es injertado junto a los fragmentos originales posteriormente, o mediante la realización de transferencias. Los sistemas de transferencia requieren que la tinta, originalmente líquida, se solidifique sobre el soporte temporal y pueda ser disuelta nuevamente, fijándose definitivamente sobre el soporte deseado⁴⁹.

En el caso de las pinturas murales, actualmente, resulta necesario recurrir a las transferencias para trasladar la imagen digital a su nuevo soporte puesto que las obras de esta naturaleza entrañan, por sus características técnicas, un doble desafío: por una parte, las irregularidades superficiales propias de los revoques hacen que sea complicado lograr una impresión homogénea, de calidad y estable. Además, al ser pinturas comúnmente albergadas en un entorno inmueble, sería necesario adaptar los procesos de trabajo *in situ* y emplear sistemas de impresión directa capaces de trabajar sobre superficies arquitectónicas. A este respecto, Francisco José Blanco-Moreno llevó a cabo una investigación enfocada a adaptar una impresora *inkjet flatbed* para la impresión directa sobre muro, con unos resultados bastante optimistas⁵⁰, pero lo cierto es que en la actualidad todavía no existen productos específicos adaptados a nuestra área de trabajo, por lo que el sistema más seguro, eficiente y asequible es la impresión sobre un soporte temporal y posterior transferencia de las tintas a su soporte definitivo.

Como hemos visto anteriormente, existen diversos soportes para transferencia basados en diferentes formulaciones y métodos de aplicación (transferencias termoplásticas, a base de polímeros solubles en disolventes apolares o a base de polímeros solubles en agua). Como ocurre con los sistemas de impresión, estos materiales han sido desarrollados para otros ámbitos de aplicación, principalmente la creación artística o la industria gráfica y textil, y no específicamente como productos para la restauración de bienes culturales. No obstante, en 2001 la empresa española Arsus Paper desarrolla Papelgel®, un material copolímero laminar, imprimible e inocuo que permitiría introducir en la reproducción de obras de arte de cualquier

⁴⁹ REGIDOR ROS *et al.* 2008. *Op Cit.* p. 34.

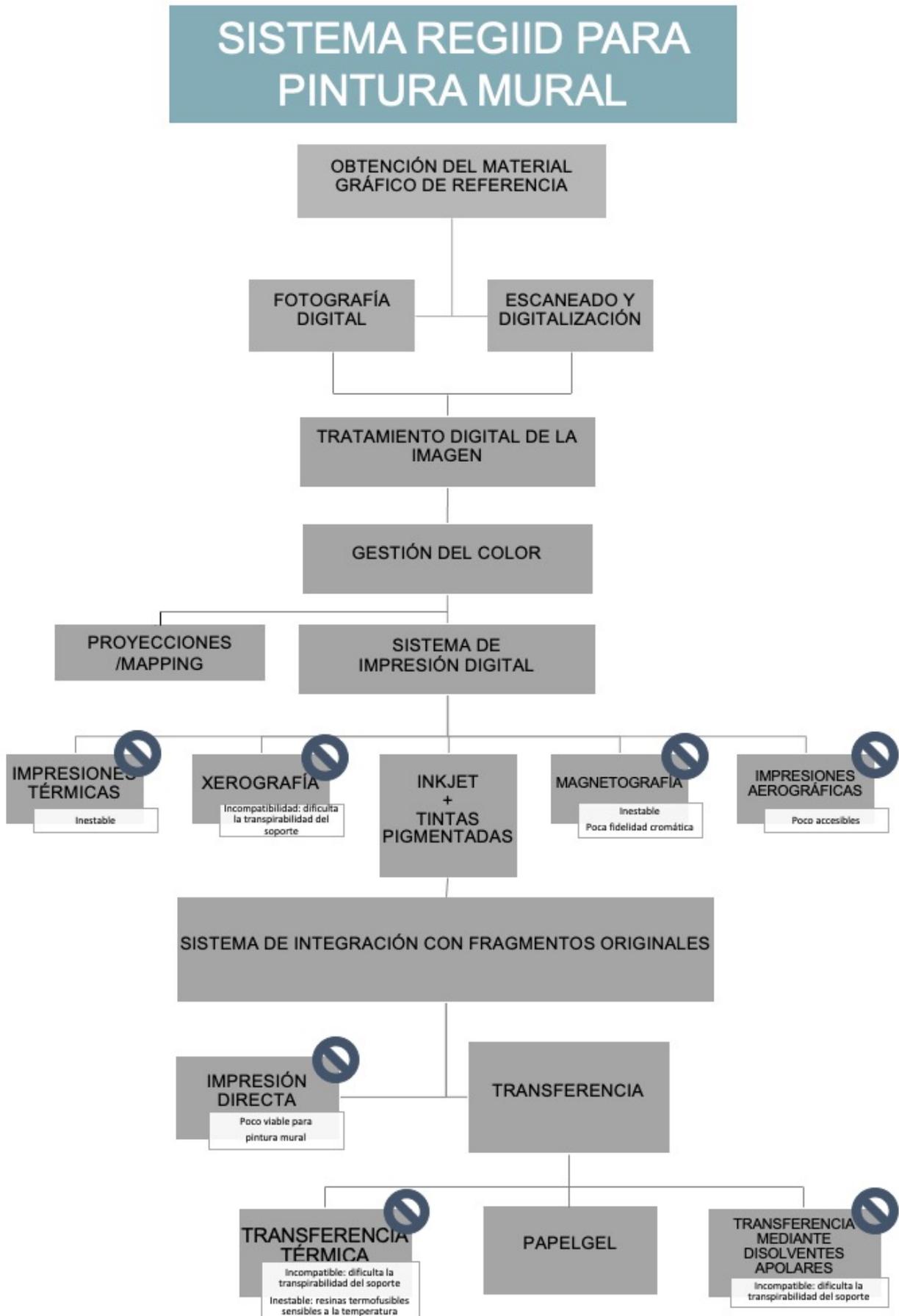
⁵⁰ "Gracias al prototipo de impresión directa fabricado para esta tesis, podemos afirmar que la tecnología de impresión *inkjet* es totalmente compatible con la reconstrucción de pinturas murales. Aunque actualmente no exista un dispositivo adaptado estrictamente a tareas de restauración, dada la versatilidad de esta tecnología, es perfectamente viable desarrollar uno ajustado a las exigencias específicas de esta disciplina." En: BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. *Reconstrucción de pintura mural mediante impresión directa con sistemas inkjet robotizados*. 2014. pp. 281-282.

naturaleza el testimonio objetivo de su imagen fotográfica. Inicialmente se emplea como sistema de transferencia de imágenes fotográficas digitalizadas para la creación de facsímiles de obras de arte, logrando resultados excepcionales en la réplica de pinturas murales y ambientes arquitectónicos. Este sistema de transferencia llamó la atención de algunos profesionales del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia. Tras realizar ensayos con diferentes soportes comerciales de transferencia (Papelgel®, Data Becker® y Lazertran®)⁵¹, se comprobó que “las bases acrílicas o siliconadas utilizadas para la transferencia de las imágenes impresas constituyen una barrera infranqueable para la transpiración natural pudiendo ser tan negativa como el abuso de consolidantes o barnizados plásticos”⁵². Al ver que los soportes de transferencia comerciales no cumplían los criterios mínimos indispensables para una reintegración pictórica (estabilidad, inocuidad y compatibilidad estética y física con la obra) se propuso adaptar el material que, de inicio, presentaba ciertas posibilidades. De este modo, en 2006 surge una colaboración entre el Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia y la empresa Arsus Paper para tratar de adecuar la formulación del Papelgel® como sistema de reintegración de pintura mural, colaboración que culmina con la utilización -por primera vez en el ámbito de la restauración- del sistema de transferencia Papelgel® en la intervención de los frescos de Palomino de la Iglesia de los Santos Juanes en 2008⁵³. En definitiva, el soporte temporal Papelgel® se perfila como el sistema más idóneo para la transferencia de tintas *inkjet* a superficies murales debido a su formulación, estabilidad, facilidad de aplicación y a los excelentes resultados en cuanto a la integración física y estética de la imagen en la superficie mural, pero también por que ha demostrado ser un material ampliamente versátil y con tal grado de adaptabilidad que le permite adecuarlo a diferentes casuísticas, algo imprescindible para poder implementar este sistema en obras de diversa índole y abarcar un mayor número de soluciones.

⁵¹ Sistema de transferencia mediante humedad y calor, transferencia térmica y transferencia mediante disolventes apolares, respectivamente.

⁵² REGIDOR ROS *et al.* 2008. *Op Cit.* p. 39

⁵³ REGIDOR ROS *et al.* 2007. *Op Cit.* p. 525.



Gráfica 1. Fases y materiales válidos en el sistema reconstrucción estética generada por imagen digital

6. ANTECEDENTES DEL EMPLEO DE TRANSFERENCIAS DE IMPRESIONES DIGITALES EN PINTURA MURAL

6.1. LA TRANSFERENCIA DE IMPRESIONES DIGITALES EN EL ÁMBITO DE LA CREACIÓN ARTÍSTICA

El desarrollo de los sistemas de impresión digital conllevó que numerosos artistas plásticos y gráficos experimentasen con la técnica como un nuevo medio de creación. Podemos encontrar ejemplos, desde los años 80, en los que los artistas trabajan con técnicas de impresión digital por medio de transferencias a diversos soportes, impresiones directas o reproducción de fotografías, englobando obras de toda índole dentro de las posibilidades de la impresión digital (Fig. 7).



Fig. 7. Robert Rauschenberg. *Fusion (Anagram)*, 1996. Transferencia de tintas *inkjet*. 153.7 x 367.7 cm Whitney Museum of American Art, Nueva York, EE.UU. Fuente: Robert Rauschenberg Foundation ©

6.2. REPRODUCCIONES FACSIMILES DE OBRAS

El buen acogimiento y la enorme demanda de estas técnicas por parte de todo tipo de sectores han conllevado un importante desarrollo y perfeccionamiento de los sistemas, que desde hace algunos años permiten realizar copias de muy alta calidad. Esto ha permitido que los sistemas de impresión digital se hayan empleado como medio para la reproducción de obras de arte y la creación de facsímiles tanto en vistas a su difusión como a su conservación: bajo la premisa de la *democratización de la cultura*⁵⁴, muchas tendencias museísticas actuales se apoyan en la utilización de la réplica con una doble función didáctica y preservadora del original.

⁵⁴ La *democratización de la cultura* defiende la difusión y el acceso a bienes y actividades culturales para el total de la población, el disfrute masivo de la cultura, sin limitarlo a los círculos intelectuales o aristocráticos.

Las primeras intervenciones en esta línea en nuestro país se llevan a cabo dentro del *Plan de Dinamización Turística del Consejo Comarcal del Pallars Sobirà* (2003), cuya intención era recuperar parte de las obras de arte románico catalán repartidas en colecciones de todo el mundo y devolverlas a su lugar de origen en forma de copias o facsímiles. Las pinturas murales del monasterio de *Santa Maria d'Àneu* (Lérida), arrancadas en 1920 para evitar el expolio de las mismas y actualmente expuestas en el *Museu Nacional d'Art de Catalunya*⁵⁵, se convirtieron en el punto de partida para el desarrollo de un nuevo sistema de reproducción de obras de arte⁵⁶, basado en impresiones *inkjet* de gran formato y transferencias soportadas en Papelgel® (Figs. 8 y 9).

Esta metodología puede ser una buena solución en algunos casos en los que la desvinculación entre la arquitectura y la pintura originales supone la pérdida de la narrativa original del conjunto, puesto que en la mayoría de los casos la decoración polícroma estaba ligada intrínsecamente al entorno arquitectónico. La posibilidad de recuperar estas imágenes, aunque sea en forma de facsímil, supone una segunda oportunidad para numerosos espacios que habían sido desprovistos de su decoración, dejando unos muros desnudos y un discurso incompleto y descontextualizado.



Fig. 8. Interior del Monasterio de Santa Maria d'Àneu antes de ser intervenido. Fuente: ARSUS PAPER ©



Fig. 9. Interior del Monasterio de Santa Maria d'Àneu tras la intervención. Fuente: ARSUS PAPER ©

⁵⁵ GIANNINI, Cristina. «Dalt d'una mula.» *Franco Steffanoni, restaurador a Catalunya Història d'una tècnica de restauració inventada a Bèrgam i exportada a Europa*. En: *Butlletí del Museu Nacional d'Art de Catalunya*, nº10. Barcelona: Museu Nacional d'Art de Catalunya, 2009, pp. 13-33. [Consulta: 03-2020] Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/ButlletiMNAC/article/view/207019>

⁵⁶ Gracias a la colaboración entre ArsusPaper S.L. y Hewlett-Packard®

La creación de facsímiles también puede ser empleada para otros fines divulgativos: un excelente ejemplo sería el de las pinturas murales del ábside de la Iglesia de San Quirico de Pedret (Barcelona)⁵⁷. En este caso el objetivo del proyecto era recrear un facsímil para la exposición temporal *El Esplendor del Románico* de la Fundación MAPFRE en Madrid⁵⁸, puesto que trasladar las pinturas originales supondría un gran reto logístico y se podría comprometer la integridad de las mismas. El facsímil tridimensional se ubicó en las instalaciones de la Fundación MAPFRE para que los visitantes pudiesen disfrutar de la mejor manera de la experiencia estética original⁵⁹ (Figs. 10; 11 y 12).



Fig. 10. Pinturas de Pedret. Finales del siglo XI – inicios del siglo XII. Fuente: MUSEU NACIONAL D'ART DE CATALUNYA ©



Fig. 11. Proceso de fabricación del facsímil de las Pinturas de Pedret. Fuente: ARSUS PAPER ©



Fig. 12. Facsímil tridimensional de las Pinturas de Pedret en la Fundación MAPFRE, Madrid. Fuente: ARSUS PAPER ©

Un proyecto de características similares que alcanzó bastante popularidad a nivel internacional fue el de la recreación de la tumba de Tutankamón. Al tratarse de una de las mayores atracciones turísticas del mundo, la enorme afluencia de visitantes diarios estaba causando serios problemas para la conservación de las pinturas, datadas en más de 3.000 años^{60 61}. Esta situación llevó a los conservadores encargados del Valle de los Reyes a plantear la necesidad de cerrar al público las puertas de diversas tumbas, entre ellas la de Tutankamón, creando un “Valle de Réplicas”

⁵⁷ Cabe mencionar que la policromía original también fue arrancada y trasladada al Museu Nacional d'Art de Catalunya en 1922, y que las que actualmente se encuentran en el edificio son una réplica integral realizada con pintura al temple en la restauración del inmueble llevada a cabo en 1995. Fuente: MORENO-NAVARRO, Antoni González. La restauración de la iglesia de Sant Quirze de Pedret (Barcelona, España). En: *Informes de la Construcción*, 1996, vol. 48, nº445, p. 5-22.

⁵⁸ FUNDACIÓN MAPFRE. El esplendor del románico: Las obras de arte del MNAC viajan a Madrid. 2011 [Consulta 03-2020] Disponible en: https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/exposiciones/historico/2011/esplendor-romanico/

⁵⁹ ARSUS PAPER. Sant Quirze de Pedret.

⁶⁰ El Dr. Zahi Hawass, egiptólogo y Exministro de Antigüedades, afirmó que “Las tumbas se destruirán totalmente dentro de 200 años debido a la respiración de los turistas que las visitan”. En: VILLAREAL y GAVIÑA. *Egipto cerrará la tumba de Tutankamon y abrirá el «Valle de las Réplicas» en Luxor*. Diario ABC. 2011 [Consulta 03-2020] Disponible en: https://www.abc.es/play/cine/abcp-egipto-cerrara-tumba-tutankamon-201101080000_noticia.htm

⁶¹ GETTY CONSERVATION INSTITITUE. Getty Conservation Institute completes work at the tomb of King Tutankhamen. En: *News From the Getty*. Los Ángeles, EE.UU: Getty Conservation Institute, 2019. [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://news.getty.edu/content/1208/files/Press%20Release%20-%20Tut%20Completion1.pdf>

que permitiese a los turistas conocer y disfrutar de la experiencia sin condicionar la conservación de semejante legado histórico-artístico^{62 63 64 65 66} (Figs. 13 y 14).. La recreación instalada en la entrada del Valle de los Reyes (Luxor) permitirá liberar a la tumba original de la enorme afluencia de turistas⁶⁷, convirtiéndose en precedente del empleo de herramientas digitales para la creación de facsímiles orientados a la conservación preventiva de bienes culturales. Si bien es cierto que anteriormente ya se había recurrido a la recreación de espacios de interés cultural en pos de evitar la degradación de los vestigios originales, como en los casos de la *Neo-Cueva* de Altamira⁶⁸ o las cuevas de Lascaux y Chauvet (Francia)^{69 70 71}, las posibilidades técnicas del momento no permitían la utilización de herramientas digitales, obligando a recurrir a técnicas manuales de reproducción (modelado de los espacios y aplicación de la policromía de forma manual), mucho menos objetivas y fieles al entorno real⁷².



Fig. 13. Proceso de fabricación del facsímil de la Tumba de Tutankamón. Fuente: ARSUS PAPER ©



Fig. 14. Facsímil de la Tumba de Tutankamón. Fuente: ARSUS PAPER ©

⁶² HELMY, Heba. Tutankamon no recibirá visitas. *El Mundo*. 7 de enero de 2011. [Consulta 03-2020] Disponible en: <https://www.elmundo.es/elmundo/2011/01/07/cultura/1294389709.html>

⁶³ SAUMAREZ SMITH, Ferdinand. Inauguran una réplica de la tumba de Tutankamón. En: *National Geographic*. 11 de mayo de 2017. [Consulta 03-2020] Disponible en: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/inauguran-replica-tumba-tutankamon_8173/2

⁶⁴ ARSUS PAPER. *Tutankamón*. 2017 [Consulta 03-2020] Disponible en: <https://arsuspaper.com/pintura-mural/tutankamon/>.

⁶⁵ FACTUM FOUNDATION. *The facsimile of Tutankhamun's Tomb: Overview*. 2009. [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://www.factumfoundation.org/pag/1548/the-facsimile-of-tutankhamuns-tomb>.

⁶⁶ FACTUM ARTE. *Factum Arte's work in the tombs of Tutankhamun, Nefertari and Seti I*. 2009 [Consulta 03-2020] Disponible en: https://www.factum-arte.com/resources/files/ff/publications_PDF/Tutankhamun_Report_may2009.pdf

⁶⁷ El Getty Conservation Institute, encargado del proyecto de restauración llevado a cabo en la tumba de 2009 a 2019, recomienda limitar el número de visitantes a 25 personas al día.

⁶⁸ LASHERAS, José Antonio et al. La Altamira del siglo XXI: el nuevo museo y centro de investigación de Altamira. En: *Patrimonio histórico de Castilla y León*. Castilla y León: Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León, 2002, nº 8. ISSN: 1578-5513. pp. 23-34

⁶⁹ MALGAT, Charlotte; DUVAL Mélanie y GAUCHON, Chrisophe. Facsimiles and transfer of heritage value: The rock art cave Chauvet-Pont-d'Arc. En: *Muséologie et recherches sur la culture*. Avignon, Francia: Culture & Musées, vol. 25, 2015. pp.141-163.

⁷⁰ PIÑA, María Carolina. Francia, una referencia en materia de facsímiles de arte prehistórico. En: *RFI*. 3 de agosto de 2015 [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://www.rfi.fr/es/francia/20150803-francia-una-referencia-en-materia-de-facsimiles-de-arte-prehistorico>.

⁷² ALAIX, Manel. Evolución de las réplicas de arte parietal, un equipamiento museístico singular. En: *ERPH Revista electrónica de patrimonio histórico*. Granada: Universidad de Granada, 2019, vol. 25. pp. 55-77

6.3. INTERVENCIONES DE RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES ASISTIDAS POR MEDIOS DE IMPRESIÓN DIGITAL Y TRANSFERENCIA

Ante los excelentes resultados en cuanto a calidad, compatibilidad estética e integración de las imágenes con el espacio arquitectónico que ofrecen estas técnicas, diversos especialistas del ámbito de la restauración han visto en los sistemas de reproducción digital de alta calidad unos posibles aliados a la hora de enfrentar ciertas fases de los proyectos de restauración.

Un ejemplo de las posibilidades que se abren gracias a la incorporación de estas técnicas es el caso de la restauración de los frescos de Andrea Mantegna en la capilla Ovetari de la Iglesia de los Eremitani de Padua, que tras el bombardeo de la ciudad en la Segunda Guerra Mundial quedaron reducidos a 80.000 pequeños fragmentos. Para devolver las piezas a su colocación se dispusieron sobre una fotografía de 1920 en blanco y negro impresa a tamaño real y transferida sobre paneles^{73 74}. Este soporte cumple una doble función: durante la restauración fue necesario para poder ir recomponiendo el “puzzle” de pequeños fragmentos, pero en la actualidad también funciona como una excelente solución expositiva, ya que devuelve la legibilidad a la obra manteniendo su estado de “ruina” de forma clara, puesto que los fragmentos originales quedan destacados sobre un fondo neutral claramente diferenciable que reconstruye el discurso figurativo del conjunto. Esta intervención refleja las enormes posibilidades de estos sistemas en nuestro ámbito de estudio, no solo en el apoyo de labores de restauración, sino como una fuerte herramienta expositiva, museográfica y divulgativa (Figs. 15; 16 y 17).



Fig. 15. Reconstrucción de los frescos de Mantegna de la Capilla Ovetari
Fuente: TATTOOWALL ©

Fig. 16. Reconstrucción de los frescos de Mantegna de la Capilla Ovetari
Fuente: TATTOOWALL ©

Fig. 17. Sistema de exposición de los frescos de Mantegna en la Capilla Ovetari
Fuente: TATTOOWALL ©

⁷³ RIERA MORA, Anna. La capella Ovetari o la feina de recomposar un puzzle. En: *UNICUM*. Barcelona: Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya, 2007, nº 6, pp. 42-50 [Consulta 04-2020] Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/UNICUM/article/view/290266>

⁷⁴ COLALUCCI, Gialuigi. I lavori di ricostruzione degli affreschi della Cappella Ovetari. En: VV.AA. *Restauración de pintura mural. Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. ROIG PICAZO, Pilar y NEBOT DÍAZ, Esther (ed.). Valencia: Editorial UPV, 2007. pp. 97-102.

A nivel local, el primer caso significativo del uso de impresiones digitales y transferencia como método de reintegración cromática de pintura mural se ha dado en la intervención de las pinturas de la bóveda de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia. La restauración, todavía en curso, de los frescos pintados por Antonio Palomino entre 1667 y 1701 supone todo un reto que requiere nuevas y drásticas alternativas a las intervenciones tradicionales de restauración ya queda muy poca pintura original, entorno a un 30% del total, debido al incendio sufrido en 1936 durante la Guerra Civil Española y a la restauración poco profesional que se llevó a cabo en el inmueble en los años 60 (Fig. 18). Además, el único documento de referencia disponible es una fotografía en blanco y negro que aporta información gráfica de antes del incendio⁷⁵ (Fig. 19). Ante esta problemática, y frente a la necesidad de reconstruir la figuración de forma objetiva evitando caer en el falso histórico que supondría una reintegración manual, un grupo de investigadores de la *Universitat Politècnica de València* llevaron a cabo diversos proyectos de investigación cuyo objetivo final sería lograr insertar la imagen fotográfica de referencia dotándola de una materialidad próxima al original empleando impresiones *inkjet* y transferencias en casi 200m² de superficie^{76 77} (Fig. 20).



Fig. 18. Estado de la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes antes de ser intervenida. Fuente: REGIDOR ROS, José Luis.

⁷⁵ REGIDOR ROS, José Luis et al. Pictorial restoration of frescos by transferring inkjet prints: the case of Palomino's frescos in the church of Santos Juanes in Valencia. En: *Arché*. Valencia: Editorial UPV. 2007, nº2, pp. 31-38. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/32167/2007_02_031_038.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁷⁶ PICAZO ROIG, Pilar. Evolución de los diversos Proyectos de Restauración de las pinturas murales de la bóveda de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia. En: VV.AA. *Restauración de pintura mural. Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. ROIG PICAZO, Pilar y NEBOT DÍAZ, Esther (ed.). Valencia: Editorial UPV. 2007. ISBN: 978-84-8363-115-7. pp. 103-131.

⁷⁷ REGIDOR ROS, José Luis. Exposición de los fragmentos conservados en la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia. Planteamiento para una reconstrucción pictórica con medios de impresión digital. En: VV.AA. *Restauración de pintura mural. Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. ROIG PICAZO, Pilar y NEBOT DÍAZ, Esther (ed.). Valencia: Editorial UPV. 2007. pp. 339-358.



Fig. 19. Fotografía de las pinturas de la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes realizada por J. Alcón. Principios del S.XX

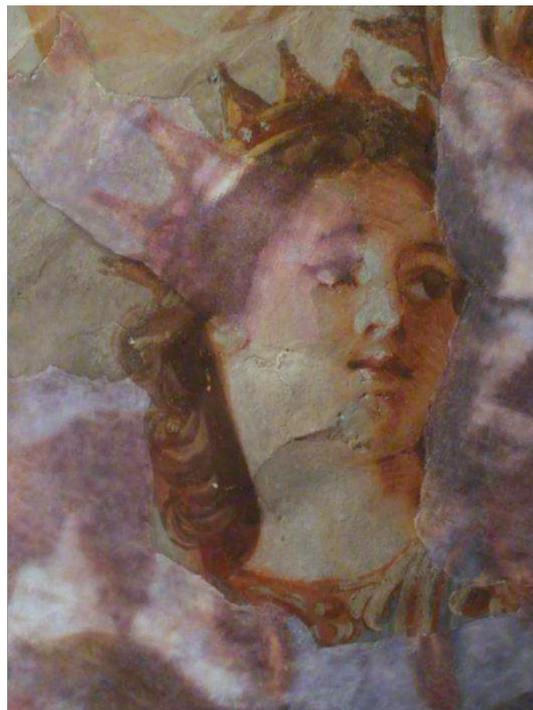
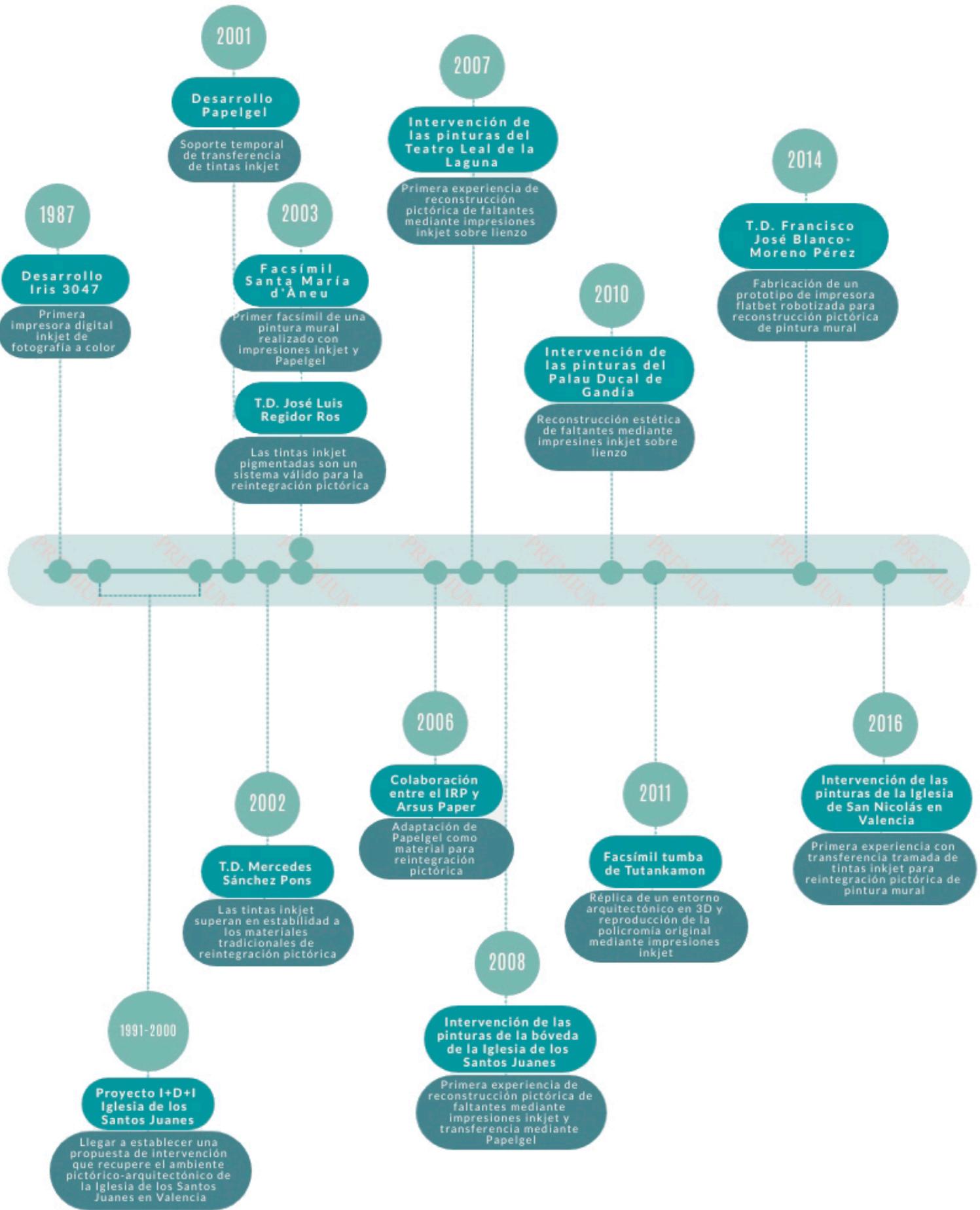


Fig. 20. Detalle de la reconstrucción de un fragmento de las pinturas de Palomino en la Iglesia de los Santos Juanes mediante el sistema REGIID. Fuente: REGIDOR ROS, José Luis

El mismo equipo técnico⁷⁸ llevó a cabo entre 2013 y 2016 la restauración de la Iglesia de San Nicolás de Valencia, recurriendo al sistema REGIID para la reconstrucción formal de una de las pilastras ubicadas a cada lado de las capillas laterales que recorren la nave central. Todas ellas presentan los mismos motivos seriados y repetitivos, ya que están enfrentadas y realizadas a modo de espejo las unas con las otras. La posibilidad de obtener el material gráfico de referencia del propio conjunto, las grandes pérdidas de superficie pictórica original y el reto añadido de ser una reintegración que sería apreciada a poca distancia por el observador y que debía asegurar un buen mimetismo formal y cromático y compatibilidad estética con los fragmentos originales para no desvirtuar la visión del conjunto, llevaron a la dirección técnica del proyecto a emplear la reintegración mediante impresión y transferencia en estas zonas. Concretamente, este es el primer caso en el que se emplea la transferencia tramada para lograr una porosidad forzada sin perder mucha resolución de imagen⁷⁹.

⁷⁸ Proyecto llevado a cabo por La Universitat Politècnica de València y un equipo de especialistas del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales dirigidos por la catedrática Pilar Roig, con la colaboración de la Fundación Hortensia Herrero.

⁷⁹ TORREGROSA VERDEJO, Marta. 2016. *Op. Cit.* p. 38



Gráfica 2. Cronograma de la evolución en las investigaciones y proyectos relacionados con el sistema REGIID

7. EXPERIMENTACIÓN

Como hemos comentado previamente, el sistema REGIID es un sistema de reciente desarrollo y que permite adaptar muchos de sus procedimientos en pos de las necesidades de cada obra o proyecto. Gracias a esta versatilidad, en los últimos años se han llevado a cabo experiencias con diferentes formas de aplicación para lograr combinar tres aspectos esenciales: la calidad y fidelidad de reproducción de las imágenes, la inocuidad del sistema, y la estabilidad de los materiales.

En la experiencia inicial llevada a cabo en la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia se trató de realizar la transferencia mediante Papelgel® sin adhesivos. Se aplicó directamente sobre el intónaco de tal forma que la pequeña cantidad de mordiente de la propia tinta y la porosidad del intónaco actuaran como si de un *coating* receptor de tinta se tratara, priorizando la transpiración del muro y evitando incorporar otros materiales aparte de las gotas de tinta. Sin embargo, se percibió que la transferencia sobre revoque mural perdía considerablemente calidad y definición al estar sujeta a las irregularidades del soporte y carecer de un componente que fijase la impresión en superficie.

Para mejorar la estabilidad y calidad de la imagen transferida en entornos de pintura mural se evaluó la incorporación de adhesivo sobre la imagen impresa, cuya función es englobar las gotas de tinta en un estrato más elástico y asegurar que queden fijadas en la superficie. De este modo, la fidelidad de la reproducción y la consiguiente integración estética es notablemente superior, algo imprescindible en aquellos casos en los que la superficie reintegrada se encuentra a poca distancia del observador, como en el caso de la Iglesia de San Nicolás. No obstante, la incorporación de un estrato de adhesivo a la transferencia supone una modificación de las propiedades físicas del conjunto puesto que la imagen transferida constituye un *film* en superficie que impide la transpiración natural del soporte. Esto puede resultar un problema porque, como venimos resaltando, cualquier intervención realizada sobre un bien cultural debe asegurar estabilidad, inocuidad y reversibilidad; por lo que resulta necesario comprobar la interacción entre este nuevo estrato y el soporte pictórico para comprobar si las propiedades físicas, mecánicas y ópticas se ven alteradas o si realmente podemos contemplar la transferencia continua adhesivada mediante Papelgel® como un sistema válido. Además de la problemática que pueda derivar de la falta de transpirabilidad del soporte, las transferencias continuas adhesivadas pueden resultar poco estables y resistentes ante las irregularidades superficiales y los cambios volumétricos que se puedan dar en el soporte, ya que carecen de la flexibilidad necesaria para poder adaptarse: al ser una superficie continua, llegado a cierto punto de estrés el *film* puede terminar por romperse, arrastrando con él las tintas transferidas y provocando una ruptura en la continuidad de la imagen y distorsiones visuales.

Así pues, para lograr una transpiración forzada sin perder mucha calidad de imagen, se plantea un sistema de transferencia tramada adhesivada. Mediante este sistema, en lugar de generar

una superficie continua, solo se transfieren una serie de puntos independientes, con un espaciado forzado entre ellos que facilitaría el intercambio de humedad y permitiría una mejor respuesta ante cambios volumétricos.

Además de las dudas que se plantean en torno a la estabilidad e interacción de los materiales propios del sistema REGIID, otro aspecto esencial a tener en cuenta durante este proceso para asegurar su efectividad es la gestión del color. En el caso de las reconstrucciones de pintura mural, hay que tener en cuenta que las tintas construirán la imagen sobre un mortero, por tanto, resulta imprescindible el perfilado del soporte que corrija las desviaciones de color para lograr que la imagen transferida concuerde cromáticamente con la obra original (o con cualesquiera que sean nuestras aspiraciones tonales). Actualmente no existe una metodología específica enfocada a este fin, por lo que resulta necesario encontrar un proceso respaldado por dispositivos y software genéricos que permitan gestionar los trabajos de administración de color y perfilado de cualquier soporte o periférico. Cabe mencionar que en las experiencias anteriores la administración del color se ha llevado a cabo empleando el software específico HP Artist®, que permite unificar todos los procesos de administración de color, pero este software solo permite trabajar con algunos periféricos específicos asociados. En definitiva, se precisa una alternativa más universal, versátil y accesible para dispositivos de cualquier marca que permita recurrir a esta metodología a un mayor número de operarios.

La experimentación llevada a cabo en el presente trabajo ha tomado como caso de estudio la intervención de las pinturas de la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia, escenario en el que este sistema de reconstrucción estética se puso en práctica por primera vez y que ha servido para desarrollar muchas de las líneas de investigación que nos llevan hasta el actual estado de la cuestión. Aunque la metodología experimental se ha adaptado a esta casuística, el presente proyecto pretende aportar una visión generalizada de la aplicabilidad de este sistema, sus posibilidades, su versatilidad, y la capacidad de hacerlo extrapolable a otras intervenciones de esta naturaleza. Como hemos podido comprobar, los avances hasta la fecha y los estudios que los respaldan parecen confirmar que la reconstrucción estética de faltantes generada por imagen digital impresa se posiciona como una opción válida en intervenciones de pintura mural, pero se han detectado algunas carencias y todavía quedan algunas incógnitas por concretar, que intentarán resolverse adaptando el actual sistema para lograr una metodología más estable, inocua y respetuosa con la obra original. La experimentación llevada a cabo persigue evaluar la permanencia y estabilidad de las tintas *inkjet* pigmentadas HP Viverra Ink ante el desgaste lumínico, evaluar la interacción entre la transferencia y el soporte de pintura mural y sistematizar una metodología para el perfilado del soporte definitivo de la reintegración, utilizando herramientas genéricas e independientes para universalizar el proceso.

7.1. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Se han elaborado un total de 11 probetas rectangulares con dimensiones de 32x10cm, empleando dos tipos de soportes: por una parte, se han fabricado 5 soportes constituidos por un sándwich de fibra de carbono tejida y un núcleo de nido de abeja de aluminio embebidos en resina epoxi, y por otra, 6 soportes de yeso reforzado con fibra de vidrio (*Tabla 1*). Se ha optado por trabajar con ambos materiales para poder evaluar los resultados tanto en un material poroso similar a una superficie mural o arquitectónica, como en un material sintético contemporáneo puesto que es habitual recurrir a este tipo de soportes auxiliares en intervenciones de arranque de pintura mural ^{80 81 82}.

CONFIGURACIÓN DE LAS PROBETAS				
PROBETA	SOPORTE	PREPARACIÓN	TIPO DE TRANSFERENCIA	TINTAS
A.1	Fibra de carbono	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	CONTINUA	Epson UltraChrome Hi-Gloss2
A.2	Fibra de carbono	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	CONTINUA	Epson UltraChrome Hi-Gloss2
A.3	Yeso	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	CONTINUA	Epson UltraChrome Hi-Gloss2
A.4	Yeso	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	CONTINUA	Epson UltraChrome Hi-Gloss2
B.1	Fibra de carbono	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	TRAMADA	HP Vivera Ink®
B.2	Fibra de carbono	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	TRAMADA	HP Vivera Ink®
B.3	Yeso	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	TRAMADA	HP Vivera Ink®
B.4	Yeso	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	TRAMADA	HP Vivera Ink®
B.5	Yeso	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	TRAMADA	HP Vivera Ink®
C.1	Fibra de carbono	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	SIN IMAGEN	SIN IMAGEN
C.2	Yeso	2 vol. Cuarcita gruesa + 1 vol. Cuarcita hiperventilada + 1 vol. Cal apagada + 1 vol. Maltamix	SIN IMAGEN	SIN IMAGEN

Tabla 1. Configuración de las probetas

⁸⁰ PÉREZ GONZÁLEZ, Carmen. *Propuesta de un soporte basado en fibra de carbono y resinas termoestables*. Huertas Torrejón, Manuel (dir.). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1997

⁸¹ SORIANO SANCHO, Pilar; PONS OSCA, Julia y ROIG PICAZO, Pilar. En torno a las pinturas murales arrancadas de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia: Estudios para la protección, separación y sustitución de su antiguo soporte. En: *Arché*. Valencia: Editorial UPV, 2006, nº 1. pp.17-24. [Consulta 05-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/32359/2006_01_017_024.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁸² SORIANO SANCHO, Pilar. *Los frescos de Palomino en la bóveda de la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia: Estudio y aplicación de un nuevo soporte*. Roig Picazo y Osca Pons (dir.). Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, 2005

7.1.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

Las probetas de fibra de carbono han sido impregnadas con Plextol® B500⁸³ y espolvoreadas con gravilla fina. Este estrato servirá de puente entre la estructura polimérica y el revoque mural, además de aportar algo de textura y mejorar el agarre del mortero (*Fig. 21*).

Todas las probetas han sido enlucidas con el mismo mortero: 6 vol. de cuarcita gruesa + 3 vol. de cuarcita superventilada + 3 vol. de *grasello* o cal apagada + 1 vol. Maltamix®68⁸⁴. Se ha elegido esta formulación debido a que es el mortero empleado en las intervenciones llevadas a cabo en la Iglesia de los Santos Juanes en Valencia. Se han aplicado dos capas de mortero en cada probeta empleando la llana para ello, y posteriormente se ha fratasado la superficie para lograr un acabado más compacto y uniforme. El fratasado también ha permitido trabajar la superficie dotándola de algo de textura, ya que la transferencia debe permitir cierta flexibilidad y capacidad de adaptarse a las irregularidades propias que se pueden dar en un enlucido real (*Fig. 22*).



Fig. 21. Preparación de la superficie de las probetas de fibra de carbono. Aplicación de Plextol® B500 y gravilla fina.



Fig. 22. Enlucido de las probetas de yeso con un mortero de reintegración de pintura mural

⁸³ Resina acrílica pura termoplástica de media viscosidad en dispersión acuosa. Ficha técnica proporcionada por C.T.S. España S.L.

⁸⁴ Mortero a base de cal apagada microfiltrada curada, micromármoles, inertes seleccionados y una resina específicamente estudiada. Ficha técnica proporcionada por C.T.S. España S.L.

7.1.2. GESTIÓN DEL COLOR Y PERFILADO DE LAS PROBETAS

Como hemos visto anteriormente, los sistemas de impresión digital *inkjet* se basan en la construcción de la imagen mediante la proyección de pequeñas partículas de tinta sobre el soporte (1). Esto implica que el color de base del soporte condicione la apariencia del color de la imagen impresa.

En cualquier trabajo de reproducción de imagen digital es necesario administrar el lenguaje de color durante el fotografiado, edición e impresión; pero también hay que tener en cuenta la variante de tono que implica que las tintas vayan a estar sustentadas sobre un mortero de reintegración de pintura mural. Por tanto, ha sido necesario generar un perfil de color (perfil ICC) ajustado a las características tonales del mortero empleado de modo que los colores, una vez transferidos, reproduzcan el color real de las imágenes.

Para la creación de este perfil de color específico se ha utilizado el espectrofotómetro X-Rite i1Studio junto al *software* asociado⁸⁵. Las impresiones se han realizado utilizando la impresora EPSON® Surecolor SC-P400 con tintas EPSON UltraChrome™ Hi-Gloss2 sobre Papelgel® siguiendo este proceso:

1. La aplicación genera un gráfico de prueba o *target*, compuesto por 50 parches de color. Estos parches llevan asociadas unas referencias de color digitales que permiten al *software* medir las variaciones entre el color generado y el color transferido (Fig. 23).

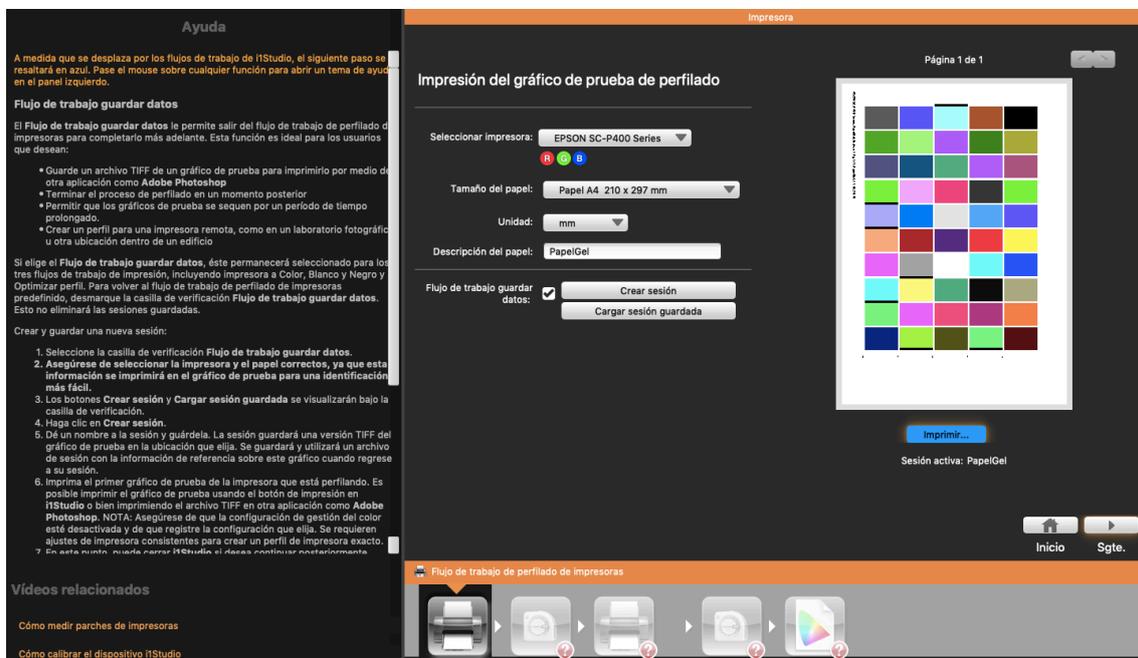


Fig. 23. Proceso de perfilado de las probetas empleando el *software* i1Studio de X-Rite. Impresión del primer *target*

⁸⁵ i1Studio ofrece un conjunto de herramientas para calibrar y crear perfiles de color de todos los dispositivos, desde la captura hasta la impresión.

2. El gráfico es impreso sobre Papelgel® y transferido sobre el soporte enlucido con el mortero (Figs. 24 y 25).

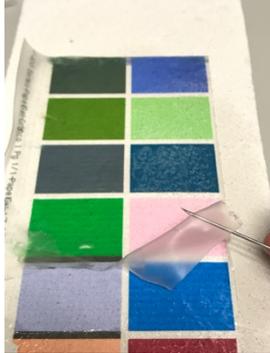


Fig. 24. Transferencia del target sobre una probeta

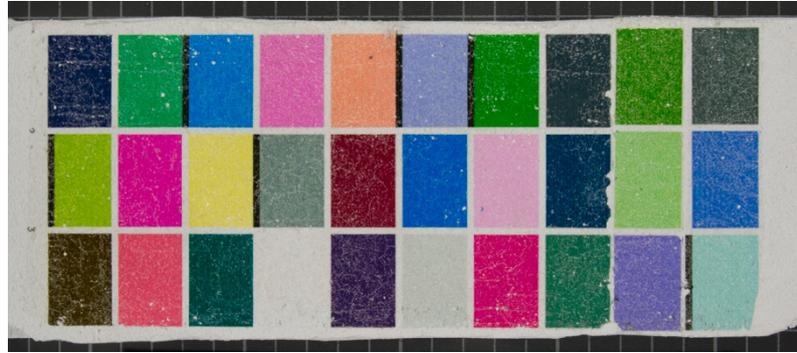


Fig. 25. Resultado de la transferencia del target sobre una probeta

3. Utilizando el espectrofotómetro X-Rite i1Studio se miden los parches de color. El procedimiento consiste en deslizar el dispositivo de forma continua por cada una de las tiras de color dispuestas verticalmente. Durante este proceso la aplicación va mostrando las diferencias entre el color “real” generado y el color transferido detectado por el espectrofotómetro (Figs. 26 y 27).



Fig. 26. Medición del target mediante el espectrofotómetro X-Rite i1Studio

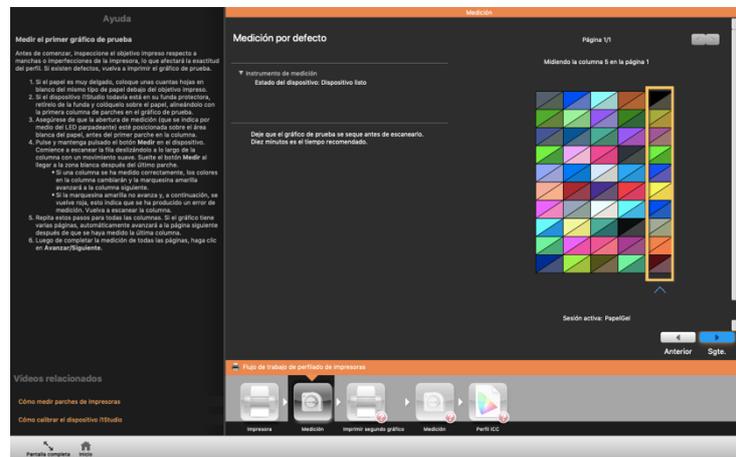


Fig. 27. El software i1Studio interpreta la diferencia entre el color "real" generado digitalmente y el color resultante de la impresión y la transferencia sobre el mortero

4. Con la información obtenida, la aplicación genera un segundo gráfico con nuevos parches de color.
5. Se repite el procedimiento de impresión sobre Papelgel® y transferencia sobre una probeta enlucida con el mismo mortero.

6. Se realiza una segunda medición con el espectrofotómetro X-Rite i1Studio (Fig. 28).

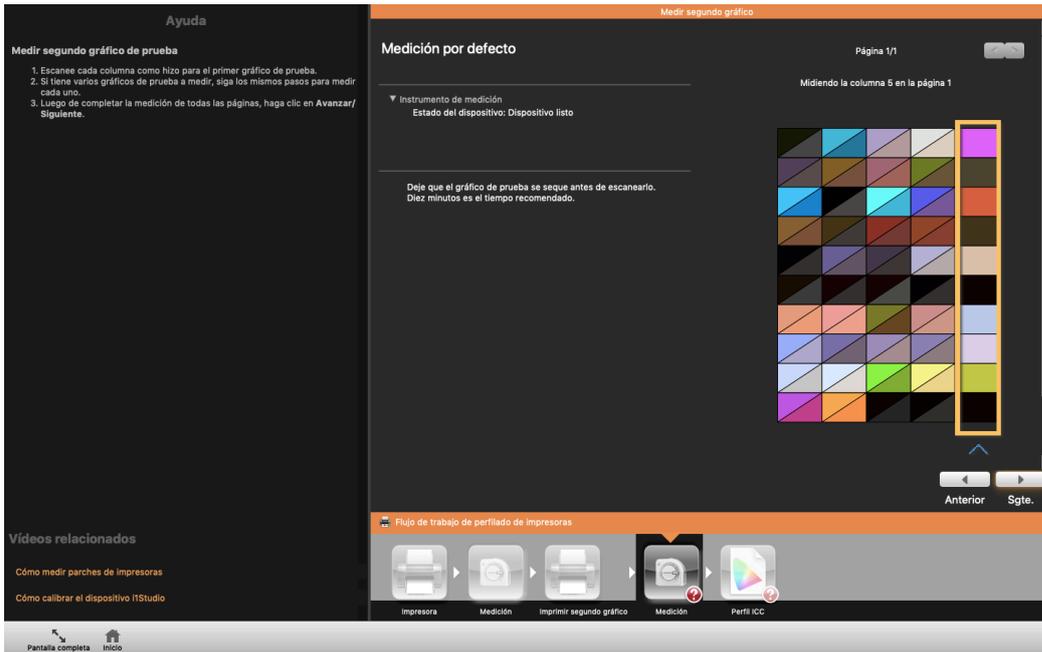


Fig. 28. El software i1Studio interpreta la diferencia entre el color "real" generado digitalmente y el color resultante de la impresión y la transferencia sobre el mortero

7. El software interpreta las variaciones detectadas entre el target generado por la aplicación y los colores transferidos sobre el soporte, y crea un perfil ICC específico con el ajuste tonal para impresiones que se transferirán sobre este mortero (Fig. 29).

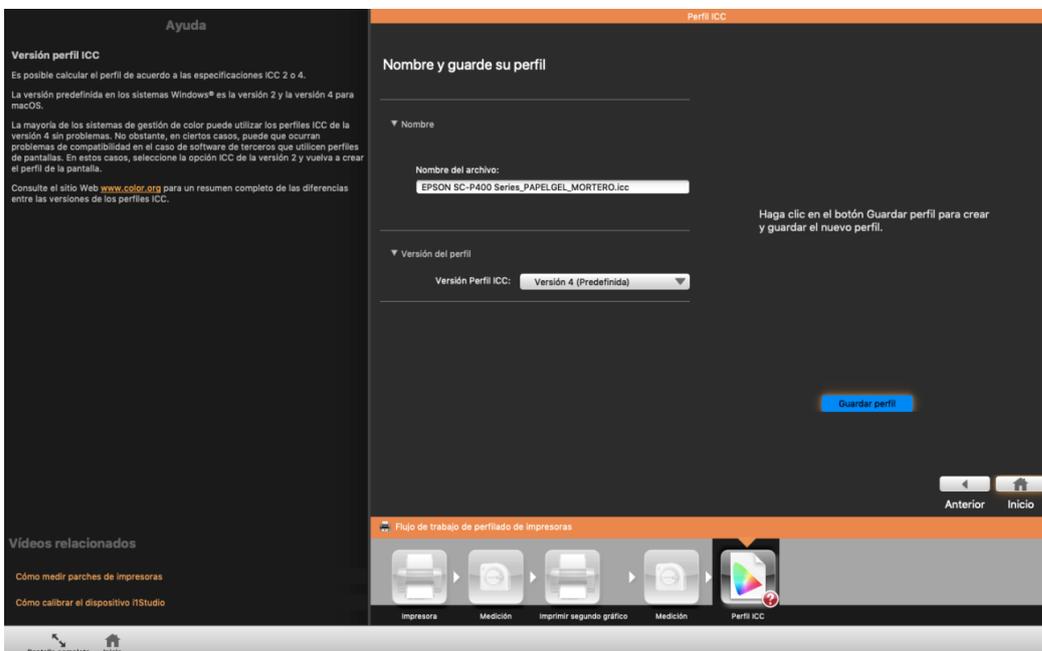


Fig. 29. El software crea un archivo .ICC específico asociado al ajuste tonal para cada trabajo. Este perfil se puede guardar en nuestro dispositivo para poder aplicarlo posteriormente en los ajustes de impresión.

El perfilado permitirá que las impresiones que van a ser transferidas sobre este soporte ya lleven incorporada la variación tonal necesaria para representar los colores de forma real.

7.1.3. IMPRESIÓN Y TRANSFERENCIA

Transferencia continua

Las impresiones se han realizado utilizando la impresora EPSON® Surecolor SC-P400 con tintas EPSON UltraChrome™ Hi-Gloss2 sobre Papelgel®. En este caso, la imagen transferida han sido los parches de color generados previamente para el perfilado de las probetas.

1. Sobre la impresión en Papelgel® se aplica una capa de resina acrílica (Paraloid B72⁸⁶ al 10% en agua) que actuará como elastificante.
2. Posteriormente se aplica una capa de una resina acrílica (Wunda Size Synthetic Gold Size⁸⁷). Esta resina actuará como película receptora de la transferencia y la fijará en superficie. Es un producto formulado para permanecer mordiente hasta 15 minutos. Al aplicarlo sobre una superficie bastante porosa, el tiempo ideal de secado hasta la aplicación de la transferencia han sido 4 minutos (*Fig. 30*).
3. Se aplica el Papelgel® sobre el soporte con el adhesivo en contacto con la superficie. Tras asegurar que queda dispuesto correctamente se presiona para eliminar las burbujas y adherir manualmente a la superficie. También se puede pasar un rodillo por la superficie para mejorar la adhesión de los estratos.
4. Finalmente se va aplicando agua mediante una esponja y frotando suavemente la superficie para despegar el soporte temporal Papelgel. En esta fase puede ser de gran ayuda emplear pinzas quirúrgicas o una aguja para ayudar a despegar el Papelgel® delicadamente (*Fig. 31*).



Fig. 30. Aplicación del adhesivo Wunda Size Synthetic Gold Size con ayuda de un rodillo de espuma

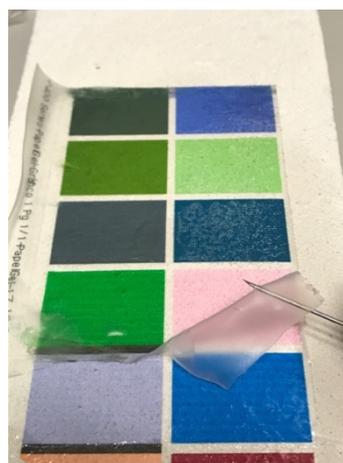


Fig. 31. Eliminación del Papelgel® con ayuda de una aguja una vez las tintas han quedado transferidas en la superficie

⁸⁶ Resina acrílica al 100% a base de Etil-metacrilato. Ficha técnica proporcionada por C.T.S. España S.L.

⁸⁷ Mixtión acrílico de base acuosa. Ficha técnica proporcionada por Gold Leaf Supplies.

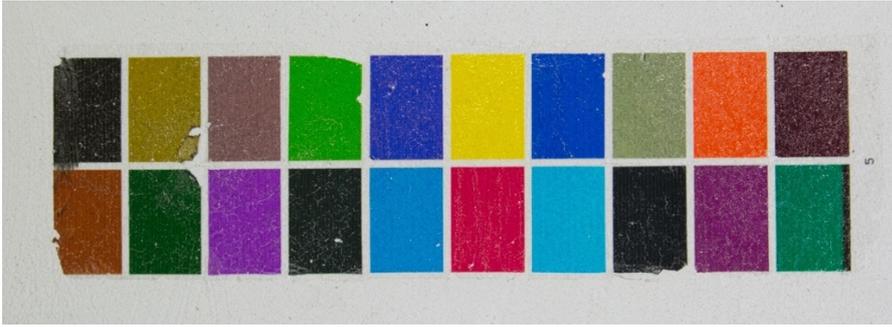


Fig. 32. PROBETA A.1.
Transferencia continua sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

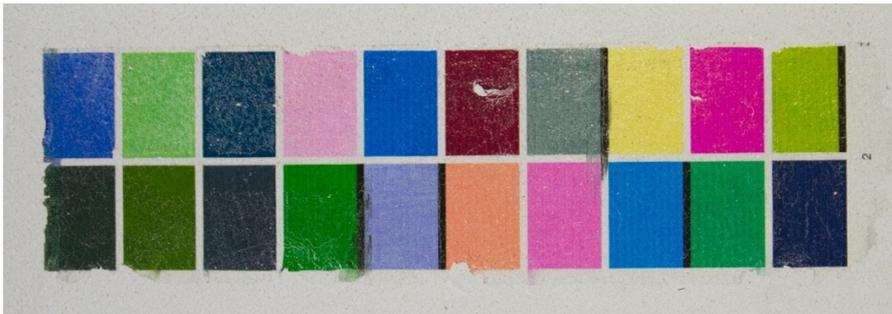


Fig. 33. PROBETA A.2.
Transferencia continua sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 34. PROBETA A.3.
Transferencia continua sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 35. PROBETA A.4.
Transferencia continua sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 36. Detalle de la PROBETA A.4. Mediante observación macroscópica se aprecian craqueladuras y puntos sin tinta

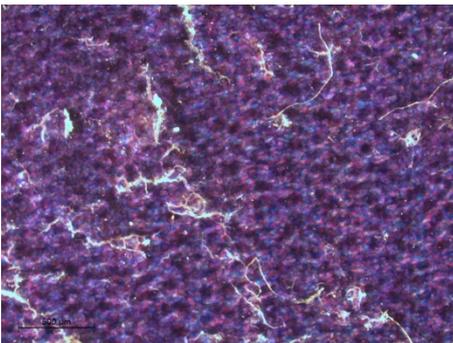


Fig. 37. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.1. en la que se aprecian grietas en la superficie transferida

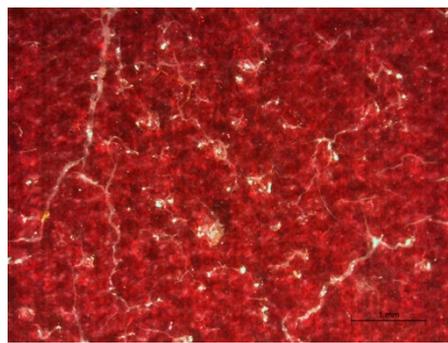


Fig. 39. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.3. en la que se aprecian grietas en la superficie transferida

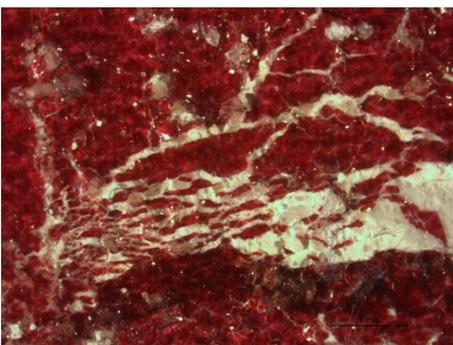


Fig. 38. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.2. en la que se aprecia la ruptura y deformación de la transferencia

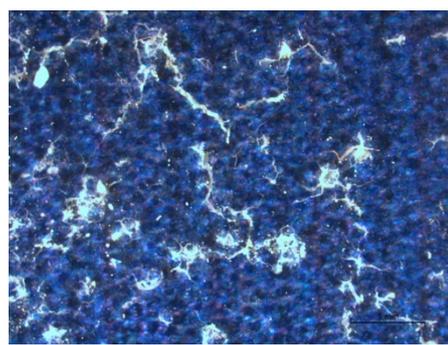


Fig. 40. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.4. en la que se aprecian grietas y puntos sin tinta en la transferencia

En todas las probetas en las que ha sido empleada la transferencia continua se puede observar a simple vista la aparición de un entramado de craqueladuras y pequeñas grietas en la superficie. También se detectan algunos puntos y zonas de mayor tamaño (de hasta 4mm.) en las que la

imagen no se ha transferido correctamente, dejando a la vista el soporte. Mediante el estudio de la superficie con lupa binocular se ha podido detectar que estos daños parecen estar originados por dos causas: por una parte, aquellos que forman una trama de grietas más aleatoria y distribuida por la superficie (Figs. 37 y 39), parecen estar causadas por la contracción del adhesivo durante el proceso de secado; por otra, en aquellas zonas en las que se percibe un desplazamiento de las tintas, parecen estar causados por la imposibilidad del *film* continuo de adaptarse a las pequeñas irregularidades superficiales del mortero, de modo que se produce una ruptura del estrato con la consiguiente disrupción de la imagen (Fig. 38). Pese a que se manifiestan de forma algo diferente, ambos problemas parecen tener su origen en el Paraloid B72 aplicado, que no logra aportar la suficiente elasticidad para adaptar la película a la superficie del mortero.

Transferencia tramada

En este caso, las impresiones se han realizado empleando la impresora HP Designjet Z5600 con tintas HP Vivera Ink® sobre Papelgel®. Para estas probetas se ha impreso una imagen compuesta por un fragmento de las pinturas de la Iglesia de los Santos Juanes en Valencia y franjas con una hexacromía⁸⁸.

1. Para obtener una superficie discontinua, se ha aplicado un adhesivo PSA mediante una pantalla de serigrafía obturada con una trama tradicional de puntos regulares del 70% (Fig. 41).
2. El Papelgel® se adhesiva por el lado de la tinta y se apoya en el soporte definitivo.
3. Finalmente se retira el soporte temporal Papelgel® empleando agua aplicada mediante una esponja. En este caso, las tintas solo quedan transferidas en los puntos adhesivados mediante la pantalla de serigrafía en lugar de generar una superficie continua.



Fig. 41. Aplicación del adhesivo mediante una trama tradicional de puntos regulares del 70%

⁸⁸ Amarillo, cian, cian *light*, magenta, magenta *light*, negro.



Fig. 42.
Probeta B.1.
Transferencia tramada sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 43.
Probeta B.2.
Transferencia tramada sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 44.
Probeta B.3.
Transferencia tramada sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 45.
Probeta B.4.
Transferencia tramada sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural



Fig. 46.
Probeta B.5.
Transferencia tramada sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

En las probetas con transferencia tramada el resultado es mucho más uniforme. Aunque se percibe una menor nitidez en la imagen, ya que solo se ha transferido el 70% de las tintas, no se generan disrupciones aleatorias que perturben la visión del conjunto. Se han detectado algunos puntos en el que las tintas no se han transferido, posiblemente debido a irregularidades o desniveles en el mortero, pero en este caso no se produce el desplazamiento de las tintas y los puntos colindantes no se ven afectados, por lo que los defectos se limitan a un pequeño espacio en blanco (Fig. 47).



Fig. 47. Detalle de la probeta B.1 en la que aparecen algunos daños superficiales que no llegan a comprometer la imagen en las zonas colindantes



Fig. 48. Detalle de la probeta B.4

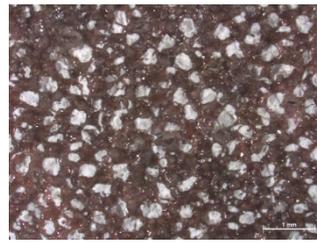


Fig. 49. Detalle con lupa binocular de la Probeta B.2 en la que se aprecia la separación forzada



Fig. 50. Detalle con lupa binocular de la Probeta B.2 en la que se aprecia la separación forzada

7.2. PRUEBAS DE BRILLOMETRÍA

El brillo de una superficie viene determinado por la reflexión de la luz que experimenta un cuerpo: cuando la reflexión se produce en un ángulo igual o similar al incidente, percibimos un acabado brillante ya que no se produce el fenómeno de difusión. La difusión es causada por una estructura superficial microscópica que cambia ligeramente la dirección de una luz reflejada, y se traduce en un aspecto más mate.

En lo que a nuestro ámbito de estudio se refiere, el brillo puede ser un aspecto de la percepción visual tan importante como el color: cada obra presenta unos acabados distintos que suelen venir dados por la propia técnica pictórica o la presencia de revestimientos. En el caso de una pintura mural pintada al fresco, la superficie se podría caracterizar a grandes rasgos como mate o ligeramente satinada. Es precisamente por este motivo que la transferencia mediante Papelgel® podría resultar problemática y suponer una interferencia visual en caso de proporcionar un acabado brillante, que destruiría la cohesión visual del conjunto al reintegrar los faltantes. Por lo tanto, la medición del brillo se convierte en imperativa para el desarrollo de este trabajo, ya que nos permitirá determinar y cuantificar si la técnica de transferencia (continua o tramada) influye en el brillo, comparando la superficie del mortero antes y después de las transferencias para determinar el más adecuado para su uso en reintegraciones cromáticas de pintura mural.

Estas mediciones se han realizado con un brillómetro, un dispositivo que dirige un haz de luz determinado a la superficie y cuantifica la luz reflejada. Se ha utilizado el brillómetro *Konika Minolta Multigloss MG-268*, que mide la reflexión especular en tres ángulos de incidencia (20°, 60° y 85°)⁸⁹, de acuerdo con las normas ISO 2813 y ASTM D523. Se han realizado diversas mediciones en cada probeta atendiendo a distintos colores y zonas de las que se ha extraído una media total por probeta⁹⁰.

⁸⁹ Según las normas ISO 2813 y ASTM D523 las mediciones con ángulo de 20° se aplican a superficies brillantes, 60° como medición universal y 85° a superficies mate. Debido al acabado semi-mate de las superficies estudiadas se han omitido las mediciones a 20°.

⁹⁰ Las mediciones se pueden consultar en *Anexo*

SIN TRANSFERENCIA		
	60°	85°
C.1	1,60	0,22
C.2	1,90	0,27
MEDIA	1,75	0,24

Tabla 2. Mediciones de brillo en probetas sin transferencia

TRANSFERENCIA CONTINUA		
	60°	85°
A.1	10,13	4,42
A.2	7,70	3,76
A.3	6,05	2,21
A.4	10,96	6,23
MEDIA	8,71	4,18

Tabla 3. Mediciones de brillo en probetas con transferencia continua

TRANSFERENCIA TRAMADA		
	60°	85°
B.1	1,09	0,38
B.2	1,09	0,27
B.3	0,97	0,48
B.4	1,27	0,47
B.5	1,25	0,60
MEDIA	1,13	0,44

Tabla 4. Mediciones de brillo en probetas con transferencia tramada

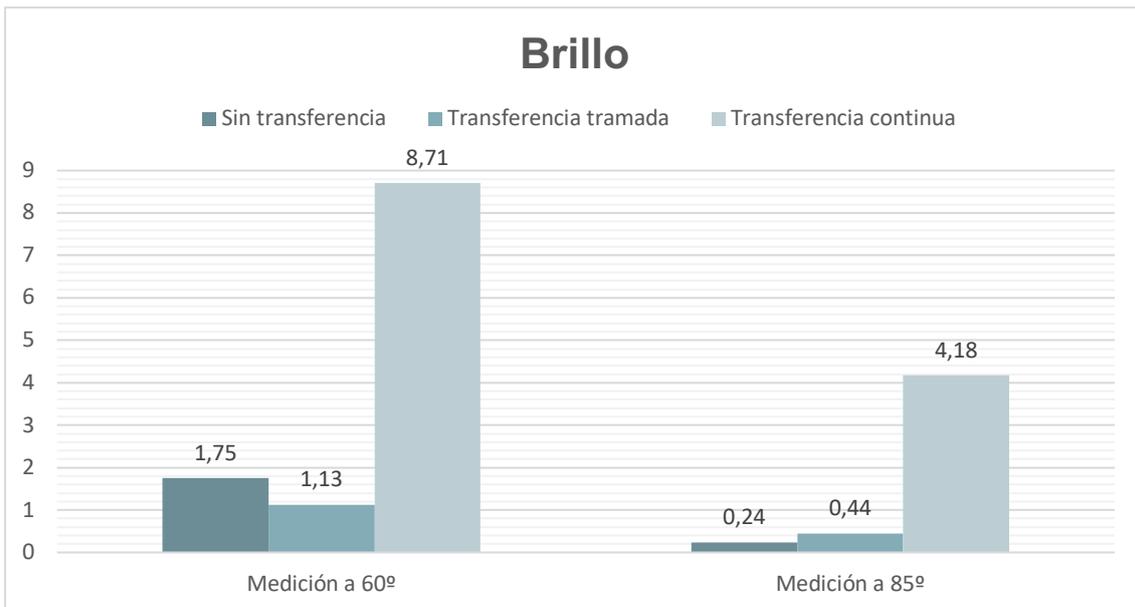


Gráfico 3. Comparativa del brillo entre el mortero sin transferencia y las probetas con transferencia continua y transferencia tramada

Los resultados muestran un gran incremento del brillo en aquellas probetas en las que se ha aplicado la transferencia continua (Tabla 3; Gráfico 3). Esto se debe a la modificación de la topografía de la superficie, ya que la generación de una capa filmógena se traduce en un brillo mucho más acusado a simple vista.

Por el contrario, las probetas con transferencia tramada mantienen unos niveles de brillo muy similares a los de la superficie del intónaco sin transferencia (Tabla 4; Gráfico 3), por lo que podemos afirmar que la reconstrucción de la imagen mediante pequeños puntos de transferencia de tinta no supondría una alteración perceptual del conjunto a la hora de integrar las reconstrucciones en una obra real de pintura mural.

7.3. COMPORTAMIENTO HÍDRICO SUPERFICIAL MEDIANTE ENSAYOS DE ABSORCIÓN

Las pinturas murales al fresco se caracterizan por tener una estructura porosa que facilita la absorción y el tránsito de vapor de agua a través de los diminutos orificios de su estructura⁹¹. Las gotas de tinta depositadas mediante el sistema *inkjet* no suponen, en sí, una alteración de la porosidad. No obstante, los adhesivos implicados en el sistema de transferencia podrían afectar a la transpiración natural del muro. En caso de que la transferencia actúe como una barrera, en condiciones de humedad elevada la impermeabilidad de las zonas intervenidas obligaría a las sales minerales y otros materiales en disolución a migrar hacia estratos más porosos como son los fragmentos originales, que actuarían como las zonas de intercambio de humedad del muro⁹², comprometiendo así la conservación de la pintura original por culpa de cristalizaciones y eflorescencias salinas.

El ensayo de absorción de agua nos permitirá:

- Comparar la influencia del soporte en la porosidad del conjunto.
- Cuantificar el grado de absorción de agua en las transferencias tramadas y las continuas.
- Comparar el comportamiento hídrico superficial en las probetas con transferencia tramada y transferencia continua para determinar el sistema más adecuado para su uso en reintegraciones cromáticas de pintura mural.

Para calcular el índice de absorción de agua (W_a)⁹³ se ha utilizado el *kit de esponjas de contacto de C.T.S.*. Este método consiste en calcular la diferencia de peso de una esponja bañada, antes y después de entrar en contacto con la superficie a examinar. El agua que es transferida de la esponja al sustrato corresponde con el valor de absorción de agua. Es decir, se calcula una diferencia de los valores de masa de agua en dos instantes de tiempo.

⁹¹ FERRER MORALES, Ascensión. *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas*. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla, 1998. p 108. ISBN: 8447202151

⁹² MARTÍNEZ GARCÍA-OTERO, Silvia Patricia. *Agentes de deterioro y alteraciones de las pinturas murales "in situ"*. En: *Revista PH*. Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 2001, nº 34. pp. 201-205. [Consulta 05-2020] Disponible en: <https://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1150>

⁹³ Medición de la capacidad de absorción de agua por esponja de contacto según norma UNI 11432:2011, aprobada en noviembre de 2011 por la *Commissione Centrale Tecnica dell'UNI Italiana*. La norma define un método para determinar la capacidad de absorción de agua de un material de piedra o morteros por unidad de área a lo largo del tiempo.

El procedimiento metodológico consiste en:

1. Impregnar la esponja de contacto con agua desmineralizada hasta que se empapa completamente, enjuagarla cuidadosamente, escurrirla hasta dejarla húmeda y después colocarla en la pieza de policarbonato que viene en el kit.
2. Impregnar la esponja con agua desmineralizada. La cantidad de agua a añadir debe ser tal que, tras colocarla en la zona a examinar, el agua no debe gotear (5 ml. en este caso)
3. Pesar la esponja con su soporte de policarbonato en balanza de precisión, obteniendo P_i (peso inicial).
4. Colocar la esponja de contacto en la superficie a analizar y ejercer presión durante 2 minutos (Figs. 51 y 52).
5. Trascurrido este tiempo, volver a pesar la esponja junto a su pieza de policarbonato, obteniendo P_f (peso final).

El cálculo del índice de absorción (W_a) se realiza mediante la siguiente fórmula⁹⁴:

$$W_a \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{min)} = (P_i - P_f) / 23.76 \times t$$

Se han realizado 3 mediciones por probeta, de las cuales se ha extraído un valor promedio⁹⁵.



Fig. 51. Medición del índice de absorción de la probeta B.5 mediante el kit de esponjas de contacto de C.T.S.

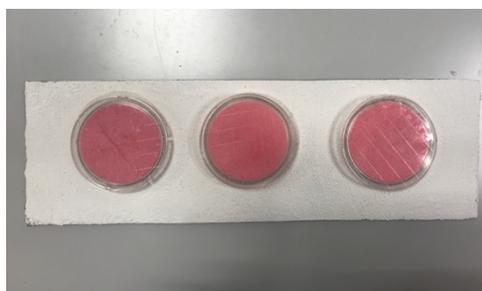


Fig. 52. Medición del índice de absorción de la probeta C.1 mediante el kit de esponjas de contacto de C.T.S.

⁹⁴ Siendo: t el tiempo de contacto expresado en minutos; P_i el peso inicial; P_f el peso final, en gramos; 23.76 cm^2 la superficie de contacto de la esponja.

⁹⁵ Las mediciones se pueden consultar en *Anexo*

SIN TRANSFERENCIA		
Probeta	Soporte	Wa (g/cm²)
C.1	Fibra de carbono	0,043
C.2	Yeso	0,020
MEDIA		0,032

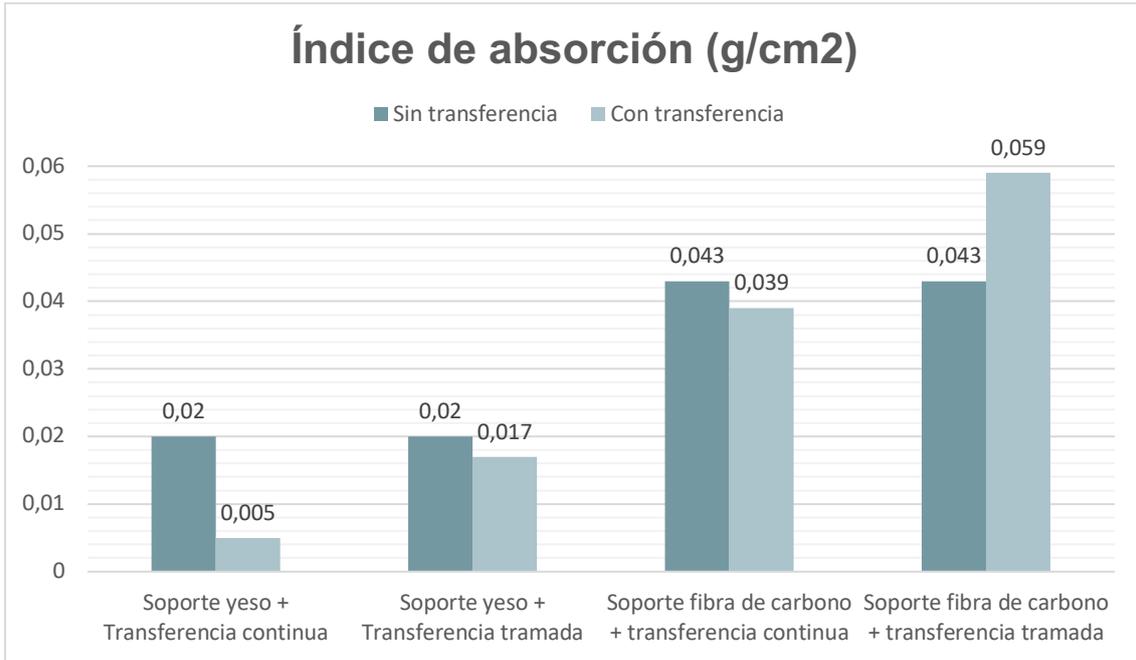
Tabla 5. Cálculo del índice de absorción en probetas sin transferencia

TRANSFERENCIA CONTINUA			
Probeta	Soporte	Wa (g/cm²)	MEDIA POR SOPORTE (g/cm²)
A.1	Fibra de carbono	0,043	0,039
A.2	Fibra de carbono	0,035	
A.3	Yeso	0,006	0,005
A.4	Yeso	0,004	
MEDIA		0,022	

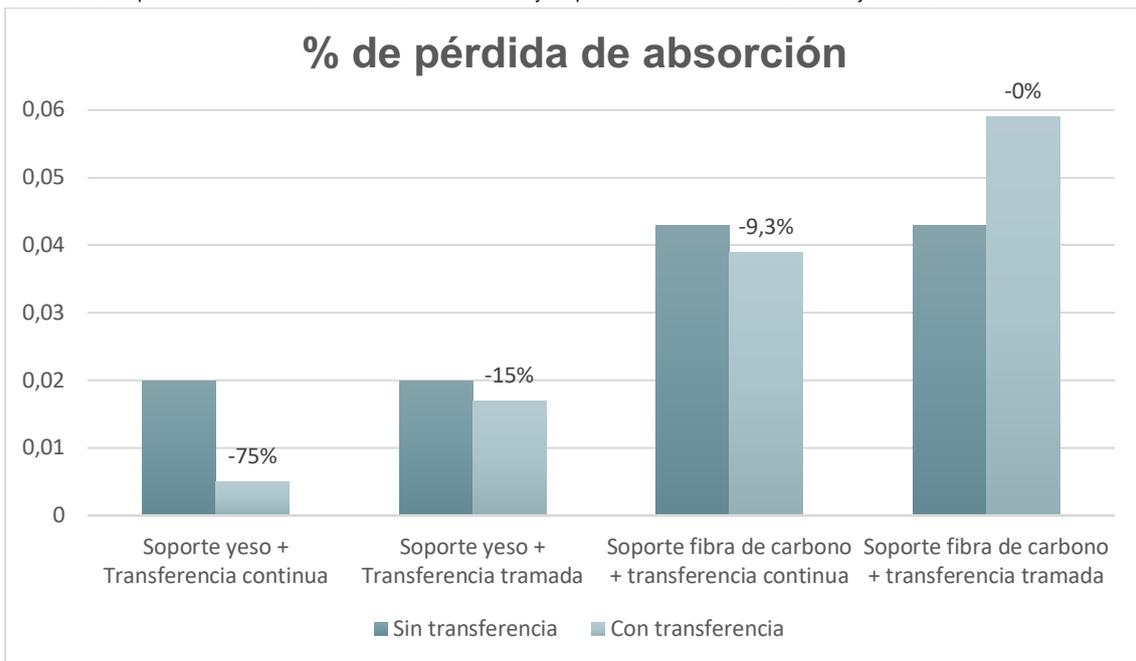
Tabla 6. Cálculo del índice de absorción en probetas con transferencia continua

TRANSFERENCIA TRAMADA			
Probeta	Soporte	Wa (g/cm²)	MEDIA POR SOPORTE (g/cm²)
B.1	Fibra de carbono	0,061	0,059
B.2	Fibra de carbono	0,058	
B.3	Yeso	0,032	0,017
B.4	Yeso	0,013	
B.5	Yeso	0,006	
MEDIA		0,034	

Tabla 7. Cálculo del índice de absorción en probetas con transferencia tramada



Gráfica 4. Comparativa del brillo entre el mortero sin transferencia y las probetas con transferencia continua y transferencia tramada



Gráfica 5. % de pérdida de absorción en las probetas con transferencia continua y transferencia tramada

En primer lugar, las probetas con soporte de fibra de carbono muestran un índice de absorción superior (*Tablas 5, 6 y 7; Gráfica 4*), pese a que el yeso es un material mucho más poroso y cabría esperar que sucediese lo contrario. Precisamente por esto, podemos deducir que en el caso de los soportes de yeso el agua contenida en el mortero es absorbida parcialmente por el propio soporte y otra parte es evaporada durante el proceso de carbonatación. Por el contrario, en los soportes de fibra de carbono el agua de la mezcla no puede ser absorbida por el soporte y queda retenida en el mortero hasta su total evaporación, con lo cual la superficie del intónaco resultante presenta una mayor porosidad. También es posible que en el proceso de aplicación manual del mortero sobre el soporte de fibra de carbono la compresión sea menor y queda una

porosidad más abierta simplemente por el método de aplicación y las posibilidades de trabajo de la superficie⁹⁶.

En cuanto a la influencia de los métodos de transferencia analizados, podemos afirmar que la transferencia tramada muestra un menor impacto en el índice de absorción del intónaco. Los resultados obtenidos reflejan que la influencia de la transferencia tramada en el conjunto es mínima, con valores que oscilan entre 0,03 - 0 gr/cm², lo que podríamos considerar una alteración mínima y completamente aceptable a la hora de aplicar esta técnica de reintegración en un caso real. También podemos observar que, en general, los resultados en las probetas con soporte de fibra de carbono y transferencia tramada han dado valores superiores a la probeta sin transferencia, algo que podemos considerar normal teniendo en cuenta que el proceso de carbonatación puede ser algo irregular dependiendo de las zonas o incluso la aplicación del mortero en cada probeta, pero se ha considerado que la alteración del índice de absorción en este caso sería mínima.

Por el contrario, la transferencia continua sí que influye notablemente en la capacidad de absorción de la superficie, siendo especialmente notable el caso de las probetas con soporte de yeso en el que el índice de absorción se ha visto reducido en un 75% (*Gráfica 5*). También hay que considerar que, como hemos visto anteriormente, la transferencia continua se agrieta y llega a romperse debido a la poca flexibilidad e incapacidad para adaptarse a las irregularidades superficiales, así es que hay que tener en cuenta que a través de estas zonas de discontinuidad del *film* aparentemente⁹⁷ sí que se está permitiendo el intercambio de humedad.

⁹⁶ Hay que señalar que el ensayo realizado tiene un alcance superficial, es decir, está aportando información sobre el comportamiento hídrico en los estratos de transferencia e intónaco, pero estos resultados vienen condicionados por el soporte empleado aunque no se esté analizando directamente la absorción de los mismos.

⁹⁷ Puede que no haya tinta pero sí elasticante (Paraloid B72) o adhesivo

7.4. PRUEBAS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Tras los ensayos preliminares anteriormente enunciados las probetas han sido sometidas a una prueba de envejecimiento acelerado en la cámara de envejecimiento por exposición a la radiación UV QUV-BASIC de Q-PANEL⁹⁸ del Laboratorio Físicoquímico del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la *Universitat Politècnica de València* durante 4 ciclos de 250 horas hasta completar un total de 1000 horas⁹⁹ a una temperatura constante de 40°C y un 50% de humedad relativa para evaluar la estabilidad y permanencia de los materiales implicados en el sistema de reintegración propuesto y para comprobar como la exposición a radiación UV los degrada. Tras el proceso se evalúan los cambios de brillo, color y absorción de agua. Los anteriores estudios de envejecimiento acelerado se habían quedado en la barrera de las 410 horas en arco de xenón¹⁰⁰, cuyo espectro de radiación es mayor¹⁰¹, pero se quería comprobar la interacción con los polímeros acrílicos incorporados en este nuevo ensayo.



Fig. 53. PROBETA B.1 antes del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 54. PROBETA B.1 después del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 55. PROBETA B.2 antes del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 56. PROBETA B.2 después del ensayo de envejecimiento acelerado

⁹⁸ Radiación lámparas UVA- 340 nm

⁹⁹ Protocolo de envejecimiento UNE-EN ISO 16474-1:2014

¹⁰⁰ Pruebas enviadas a AMIEN: *The Art Materials Information and Education Network*. Tras 410h. de exposición, la alteración del color fue de $<2 \Delta E^*$

¹⁰¹ Las cámaras de ensayo con luz de arco de xenón tienen la potencia de salida espectral muy similar al espectro completo de la radiación solar, incluyendo ultravioleta (UV), luz visible e infrarroja. Los cambios en la intensidad de la luz pueden afectar la velocidad del deterioro del material, mientras los cambios en la distribución espectral pueden afectar tanto la velocidad como el tipo de degradación del material. La emisión luminosa de la lámpara de arco de xenón es difícil de entender debido a muchas variables incluyendo la transmisión de los filtros, los puntos de control de la irradiación, la intensidad de la irradiación y el envejecimiento de las lámparas. Los sistemas de control de irradiación afectan tanto la intensidad de la luz como su espectro. Fuente: Q-LAB. *Comparación de las exposiciones a la luz de arco de xenón estática y giratoria*. 2006 [Consulta 06-2020] Disponible en: <https://www.q-lab.com/documents/public/e06d915f-6ad7-436e-8404-b2a7fdc8e5dd.pdf>



Fig. 57. PROBETA B.3 antes del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 58. PROBETA B.3 después del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 59. PROBETA B.4 antes del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 60. PROBETA B.4 después del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 61. PROBETA B.5 antes del ensayo de envejecimiento acelerado



Fig. 62. PROBETA B.5 después del ensayo de envejecimiento acelerado

7.4.1. ENSAYO DE PERMANENCIA DE LAS TINTAS FRENTE A ENVEJECIMIENTO ACELERADO EN CÁMARA UV

Un requisito esencial para cualquier material de reintegración cromática es asegurar una buena permanencia del color. Para poder evaluar estos parámetros se han realizado mediciones colorimétricas de 21 puntos diferentes en cada probeta¹⁰² empleando el espectrofotómetro Eye-One Scan Target 1.4 de la casa X-rite® junto al *software* Measure Tool® que procesa los datos, abarcando el mayor rango cromático posible para poder estudiar su comportamiento frente a una fuente de desgaste lumínica UV. Se han realizado mediciones iniciales y tras finalizar cada ciclo de 250h en la cámara de envejecimiento acelerado para comprobar la evolución de las tintas a lo largo del proceso de desgaste (*Tabla 8; Gráfica 6*). Con los resultados obtenidos se ha calculado la diferencia del color (ΔE^*)¹⁰³, que se calcula mediante la siguiente fórmula: ^{104 105}

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Probeta	ΔE^*			
	250h.	500h.	750h.	1000h.
B.1	2,76	3,26	4,30	4,99
B.2	3,07	3,56	4,38	4,51
B.3	3,57	3,58	4,16	5,46
B.4	3,16	4,12	4,87	6,22
B.5	3,17	3,63	4,97	6,39
MEDIA	3,14	3,63	4,54	5,52

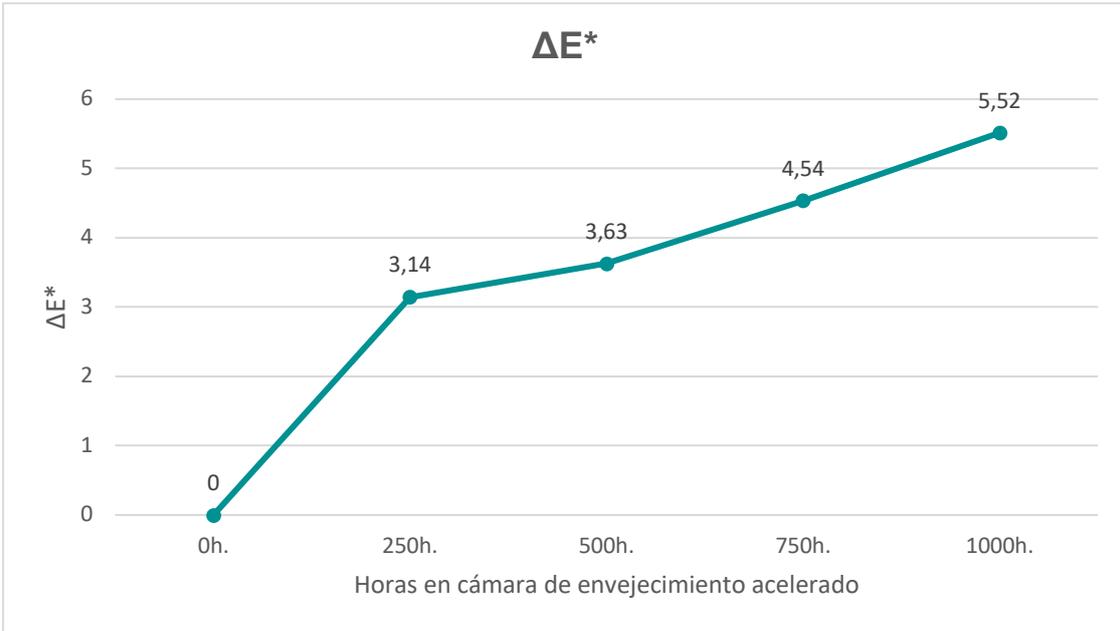
Tabla 8. Cálculo del de la alteración de color (ΔE^*) por ciclo y por probeta

¹⁰² El estudio colorimétrico de las probetas ha sido realizado siguiendo la norma UNE-EN15886:2010 de Medición del color en superficies en Conservación del Patrimonio Cultural.

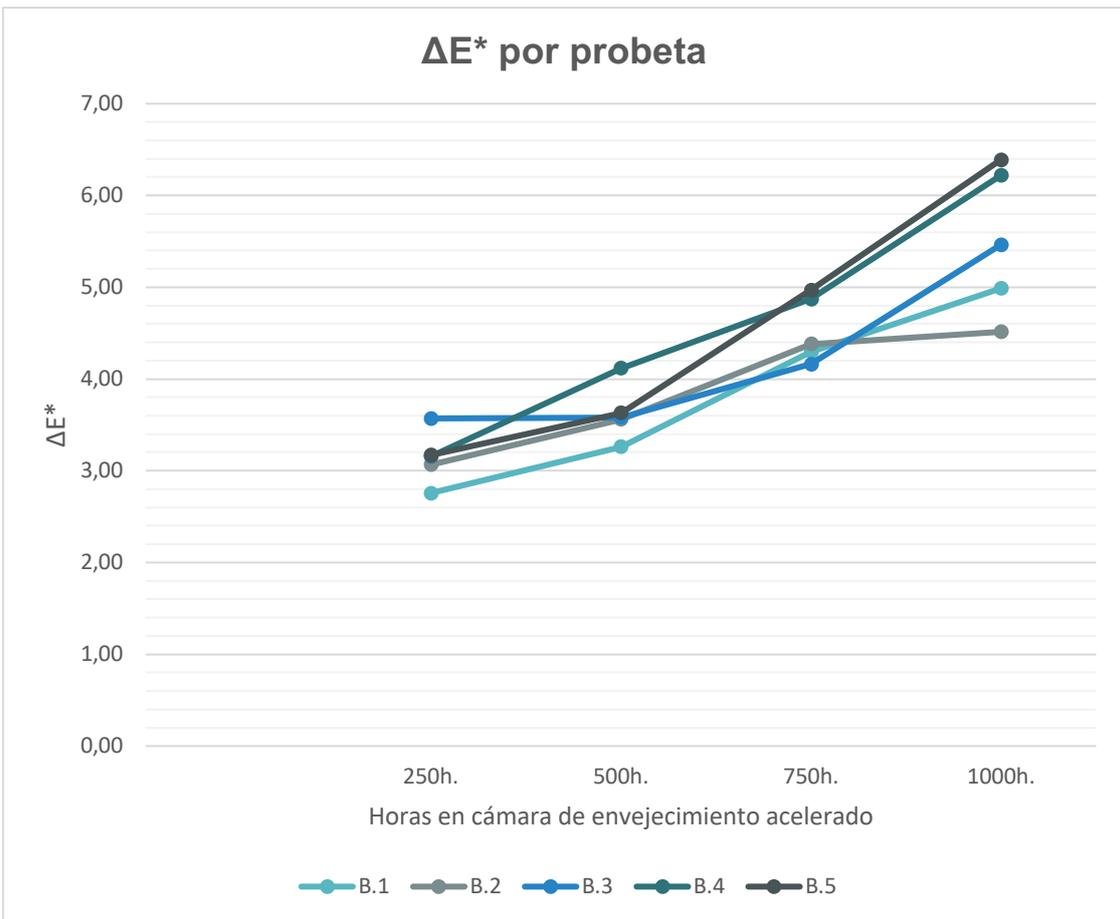
¹⁰³ Las diferencias entre colores del espacio CIELAB se calculan mediante ecuaciones ΔE_{ab}^* , ΔE o ΔE . Una diferencia entorno a 3 o 4 ΔE^* es considerada como inapreciable por el ojo humano.

¹⁰⁴ WYSZECKI, Gunter y STILES, W.S. *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*. New York: John Wiley and Sons, 1982.

¹⁰⁵ Donde: E = diferencia de color; $\Delta L^* = L^*2 - L^*1$; $\Delta a^* = a^*2 - a^*1$; $\Delta b^* = b^*2 - b^*1$



Gráfica 6. Alteración del color por ciclo



Gráfica 7. Alteración del color por probeta

Los resultados globales obtenidos en los ensayos se consideran bastante buenos, ya que se muestra una alteración del color tras 1000h que oscila entre los 4,51 y 6,39. Según la *American Society of Testing and Materials* (ASTM). Estos materiales se clasificarían en un nivel 2 como “Muy Buena permanencia”¹⁰⁶, ya que se han obtenido resultados entre 4-8 ΔE^* . No obstante, los resultados en prácticamente todas las probetas superan 3 ΔE^* a partir de las primeras 250h de exposición a UV, que sería el límite a partir del cual estos cambios son perceptibles para el ojo humano, por lo que cabe asumir que cualquier exposición prolongada de las tintas a UV supone un cambio perceptual del color.

ΔE POR COLOR				
	250h.	500h.	750h.	1000h.
Negros	1,80	2,92	4,53	6,54
Cían	1,48	1,09	1,39	2,17
Magentas	1,47	1,44	3,09	4,08
Amarillos	2,28	2,09	2,31	2,53

Tabla 9. Cálculo del de la alteración de color (ΔE^*) por color y ciclo

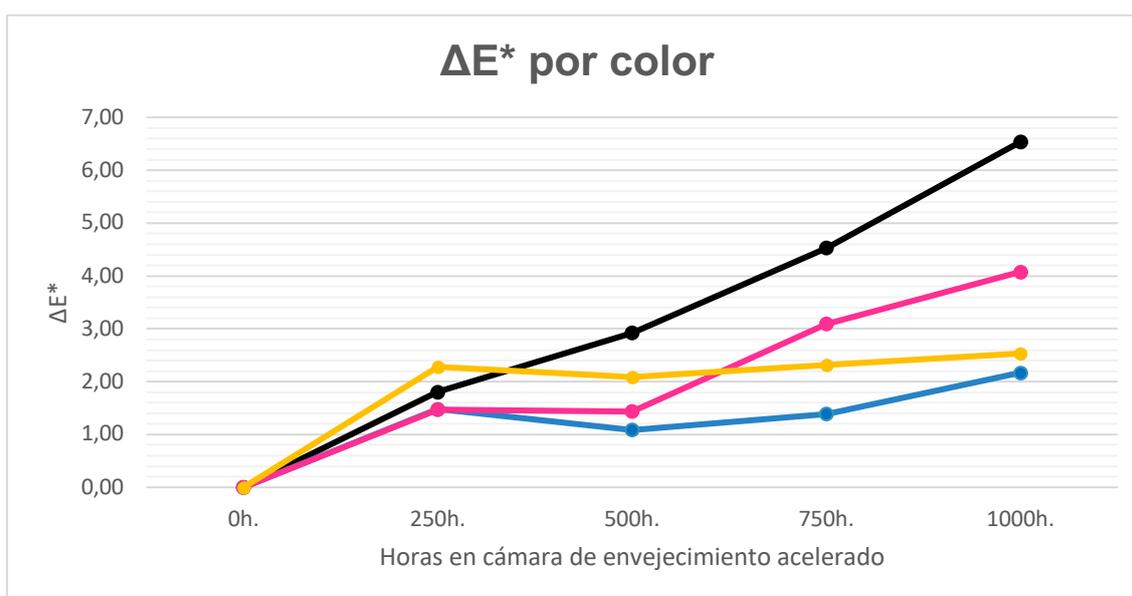


Gráfico 8. Alteración por color y ciclo

Para estudiar el comportamiento pormenorizado de las diferentes tintas empleadas (negro y colores primarios) se han realizado mediciones en las franjas impresas con colores puros, de las que se han extraído medias por color (por tinta empleada) (Tabla 9; Gráfico 8). Al analizar los resultados se percibe que la tinta que más alteración presenta tras 1000h de envejecimiento es la de color negro, con resultados bastante más acusados que el resto. A este respecto cabría señalar que el negro es color que más energía ha concentrado y absorbido durante la exposición

¹⁰⁶ Fuente: American Society of Testing and Materials (ASTM). *Lightfastness of Media*. [Consulta 05-2020] Disponible en: <https://www.artcons.udel.edu/mitra/Documents/ASTM-and-Lightfastness.pdf>

prolongada a UV, por tanto, es la tinta que más afectada se ve y su alteración es exponencialmente más alta que en el resto. A la hora de influir en los resultados globales, el negro se suele emplear en conjunto con otras tintas para determinar la luminosidad de un color, por lo que puede tener un menor impacto en la apreciación visual de alteración del color que en el caso de las demás tintas.

En el caso de la tinta magenta destaca que, aunque hasta las 500h muestra un comportamiento relativamente estable y presenta una curva de alteración similar a los colores amarillo y cian, a partir de las 500h se altera en mayor medida obteniendo unos resultados finales algo más acusados.

Los amarillos y azules presentan una curva de comportamiento similar, alterándose paulatinamente a lo largo del proceso y logrando un excelente resultado tras 1000h de exposición a UV, con una alteración interior a 3 puntos ΔE^* . Sin embargo, resulta llamativo que la sensación cromática que percibimos al observar las probetas es de un viraje hacia los tonos rosados, producido por el desvanecimiento de los amarillos que ayudan a conformar las carnaciones del rostro de la imagen transferida. A este respecto cabe señalar que el amarillo es el color que absorbe más luz azul, que es la que más emite la cámara de envejecimiento UV; y junto a la reflexión de las zonas claras y capas más livianas de tinta ha podido favorecer este aspecto en las zonas de mezclas de tintas.

Además de medir la variación de color en los colores puros, también se han analizado otros 7 puntos de la imagen transferida para estudiar la variación del color que se produce cuando las diferentes tintas interaccionan entre ellas (*Gráfica 10*).

ΔE - 1000h. Envejecimiento acelerado						
	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	MEDIA
Negros	6,29	6,65	5,42	6,92	8,71	6,80
Azules	2,43	2,24	2,01	1,92	2,25	2,17
Magentas	3,68	3,62	3,75	4,34	5,01	4,08
Amarillos	1,99	1,05	3,40	2,54	3,68	2,53
15	3,94	3,10	5,13	9,01	6,88	5,61
16	7,25	1,38	5,26	9,60	1,57	5,01
17	1,53	5,17	16,45	1,35	5,60	6,02
18	7,11	7,86	7,16	10,36	10,34	8,57
19	0,41	3,01	4,68	2,87	0,78	2,35
20	0,32	0,19	2,29	3,50	*	1,57
21	7,29	1,94	3,15	8,56	4,28	5,05

Tabla 10. Cálculo del de la alteración de color (ΔE^*) por ciclo y por probeta

*La medición 20 de la probeta B.5 se ha descartado porque la zona sufrió una erosión y los resultados podrían ser erróneos

A la hora de analizar estos datos nos encontramos con datos de lo más dispares, con zonas en las que la diferencia de color tras 1000h es mínima e imperceptible al ojo humano y otras en las que los cambios están por encima de la media global de alteración en el conjunto de probetas, por lo que resulta imposible extraer unas conclusiones claras en cuanto a la interacción de las tintas en las diferentes mezclas de colores. No obstante, sí que nos permite comprender mejor el comportamiento del sistema de transferencia en sí: aunque todas las probetas tienen la misma imagen transferida, los procesos de estucado, adhesivado y aplicación de la transferencia son manuales, por lo que es comprensible que se den resultados distintos en puntos que aparentemente son concordantes (Figs. 63 a 66). Para ser más exactos, al razonar esta cuestión desde un punto de vista físico y químico, hay que señalar que los procesos de decoloración y alteración de las tintas se producen de un modo más notable en las capas más ligeras, por lo que la deposición de gotas de tinta del sistema *inkjet* o incluso el propio adhesivo que sustenta la transferencia puede condicionar la mayor o menor absorción de energía por parte de las tintas, de modo que resulta difícil agrupar los resultados entorno a una tendencia y resulta necesario visualizarlos individualmente partiendo de la base de que el proceso de envejecimiento acelerado no solo involucra a las pequeñas gotas de tinta, sino a todos los materiales implicados en este sistema de reintegración.



Fig. 63. Captura de pantalla de Measure Tool® con los colores medidos en de los colores detectados la PROBETA B.2



Fig. 65. Captura de pantalla de Measure Tool® con los colores medidos en de los colores detectados la PROBETA B.4



Fig. 64. Detalle con lupa binocular del punto de medición 19 de la PROBETA B.2



Fig. 66. Detalle con lupa binocular del punto de medición 19 de la PROBETA B.4

Respecto al envejecimiento acelerado en cámara de radiación UV, cabe señalar que se trata de un ensayo muy agresivo y que en ningún caso es equiparable al desgaste lumínico real al que serían sometidas estas tintas en caso de aplicarse en un entorno mural interior, cuya iluminación suele y debe ser mucho más suave y controlada, pero nos sirve para conocer el comportamiento general de las tintas y su proceso de decoloración.

7.4.2. BRILLOMETRÍA

Tras las pruebas de envejecimiento acelerado también se han realizado mediciones de brillo para comprobar si los adhesivos implicados en el proceso de transferencia se han visto degradados o alterados durante el proceso, ya que una variación del brillo significara que se han producido cambios en la topografía superficial de las probetas (*Tablas 11 y 12*).

MEDICIÓN INICIAL		
PROBETA	60°	85°
B.1	1,09	0,38
B.2	1,09	0,27
B.3	0,97	0,48
B.4	1,27	0,47
B.5	1,25	0,60
MEDIAS	1,13	0,44

Tabla 11. Medición del brillo antes de las pruebas de envejecimiento acelerado

MEDICIÓN TRAS 1000h EN CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO		
PROBETA	60°	85°
B.1	1,13	0,38
B.2	1,04	0,22
B.3	1,18	0,53
B.4	1,28	0,41
B.5	1,39	0,64
MEDIAS	1,20	0,44

Tabla 12. Medición del brillo después de las pruebas de envejecimiento acelerado

El brillo tras el envejecimiento no ha variado prácticamente, por lo que ha quedado comprobado que durante el proceso de envejecimiento acelerado no se ha producido ningún cambio en la textura superficial.

8. CONCLUSIONES

- La creación de perfiles de color ICC específicos para cada trabajo es esencial para lograr que el color transferido sobre cualquier superficie concuerde con el color “real” de la imagen digital. Empleando herramientas universales ha sido posible desarrollar una metodología para el perfilado de superficies que puede ser implementando por usuarios que utilicen cualquier sistema de captura, impresión y sistema operativo, logrando así una mayor accesibilidad para emplear el sistema REGIID en trabajos de restauración.
- Se ha podido comprobar que la generación de una superficie continua al transferir la imagen dificulta la flexibilidad, necesaria para poder adaptarse a las irregularidades superficiales sin llegar a romper o deformar el *film*, que ha terminado por arrastrar con él las tintas. Pese a que en los ensayos realizados estos daños tienen un tamaño bastante pequeño, hay que considerar que la superficie sobre la que se ha transferido la imagen es relativamente lisa y uniforme en comparación a las irregularidades que podríamos encontrar en un intónaco de obra mural. Por el contrario, la transferencia de puntos de tinta independientes ha mostrado una buena capacidad para adaptarse a la topografía propia de un soporte mural. Además, en caso de haber desniveles superficiales acusados, aunque la imagen no se transfiera en esas zonas no se comprometan los puntos colindantes ni se produce el desplazamiento de las tintas transferidas llegando a distorsionar la imagen.
- En lo que respecta al brillo, se ha comprobado que la transferencia continua implica un gran incremento del brillo de la superficie, ya que se modifica la topografía propia de un soporte mural, que al ser más bien irregular tiende a reflejar la luz de tal forma que la percibimos como mate o ligeramente satinada. De este modo, la aplicación de una transferencia continua conllevaría una distorsión visual puesto que las zonas reintegradas resaltarían en contraste con las originales, aunque cabe mencionar que existen agentes mateantes que permitirían solventar este problema. Por el contrario, la transferencia tramada ha mostrado muy buenos resultados a la hora de respetar el brillo original de la superficie, por lo que en este sentido también aventaja en resultados a la transferencia continua en intervenciones sobre soportes murales.
- Los ensayos de absorción han revelado que el índice de absorción del conjunto no depende solo del intónaco aplicado, que ha sido el mismo en todas las probetas, sino que el material empleado en el soporte de base y el trabajo de la superficie durante su aplicación también influyen notablemente en los resultados. En cuanto a la influencia de los métodos de transferencia analizados, hemos comprobado que la transferencia tramada implica un menor impacto en el índice de absorción. Por el contrario, la transferencia continua sí que reduce drásticamente la capacidad de absorción de la superficie, siendo especialmente notable el caso de las probetas con soporte de yeso en el que el índice de absorción se ha visto reducido en un 75%. Por este motivo, deberíamos descartar esta técnica ya que en aquellas zonas en la que la transferencia se superponga sobre el mortero original se estaría alterando

considerablemente su capacidad de absorción con los consecuentes problemas de migración de humedad y materiales en disolución a la superficie pictórica original que podrían producirse. Además, en caso de que fuese necesario aplicar algún tratamiento de impregnación de la superficie posteriormente, la capacidad de absorción en estas zonas se habría visto notablemente alterada.

- Mediante los ensayos de envejecimiento acelerado mediante exposición a radiación UV durante 1000h se han podido extraer algunas conclusiones en lo que respectaría a la permanencia y estabilidad de las tintas pigmentadas UV Vivera Ink®. En el caso de los colores puros, que corresponderían a la estabilidad de cada una de tintas, los resultados son, de hecho, muy optimistas pues se han conseguido resultados de 2,17 ΔE^* en el caso de la tinta cian; 2,53 ΔE^* en el caso de la amarilla y 4,18 ΔE^* en la magenta, resultados apenas perceptibles a simple vista. La excepción es la tinta negra que muestra una mayor curva de alteración y unos peores resultados finales, llegando a alterarse 6,8 ΔE^* . En las zonas de la imagen en las que las tintas deben interactuar entre ellas para obtener mezclas de colores, los resultados son en general más dispares y la alteración del color final es más perceptible a simple vista. También hemos podido percibir que, al tratarse de un proceso manual desde el estucado de la superficie hasta la aplicación de la transferencia, se obtienen resultados bastante dispares en las zonas donde las tintas interactúan entre ellas, pues la transmisión de energía de la radiación UV no responde exclusivamente a un criterio colorimétrico que afecte únicamente a las gotas de tinta, sino al conjunto de los materiales englobados en cada probeta. A nivel global, tras las primeras 250h de exposición la mayoría de las probetas se han alterado en su conjunto apenas 3 puntos ΔE^* , en la frontera de lo perceptible para el ojo humano. Tras 1000h los resultados globales en las diferentes probetas se agrupan entre los 4,50-6,39 puntos ΔE^* , por lo que la alteración de los colores es plausible a simple vista. En definitiva, aunque la alteración del color tras 1000h sea perceptible, debemos interpretar estos resultados como positivos, pues según la *American Society of Testing and Materials* (ASTM) estos materiales se clasificarían en un nivel 2 como “Muy Buena permanencia”, ya que se han obtenido resultados entre 4-8 ΔE^* . Por supuesto hay que destacar que el ensayo de 1000h con radiación UV es muy agresivo y en ningún caso es equiparable a las condiciones reales en las que se expondría una obra mural con una reintegración de este tipo, pero resultaba necesario exponer a los materiales a un desgaste extremo para comprender mejor su comportamiento, evolución y desgaste.
- Otro aspecto llamativo de los estudios colorimétricos tras el ensayo de envejecimiento acelerado en cámara UV es que, pese a que las mediciones no reflejan una gran alteración del color en las tintas puras amarillas (2,53 ΔE^* tras 1000h.), el tono general de las probetas parece haber virado hacia el rosado debido a que en las carnaciones el desvanecimiento de los amarillos se hace evidente y altera notablemente nuestra percepción de los tonos carne. Parece que este efecto se da porque el amarillo es el color que absorbe más luz azul, que es la más emitida en el espectro UV, por lo que el ambiente expositivo para obras

reintegradas mediante este sistema debería diseñarse controlando las fuentes UV para evitar estas alteraciones.

- Mediante los ensayos de envejecimiento acelerado también se ha comprobado la estabilidad de los polímeros acrílicos empleados como adhesivos. Tras estar sometidos a una temperatura de 40°C durante 1000h, las tintas transferidas no muestran ningún indicio de pérdida de cohesión ni adherencia, y el ensayo de brillometría muestra unos resultados prácticamente idénticos a antes del envejecimiento, confirmando así que no hay cambios en la topografía de la superficie, por lo que no se ha detectado ningún proceso de degradación del adhesivo.
- El principal objetivo de esta línea de investigación era plantear un sistema de reintegración lo más objetivo posible basado en la imagen digital y su integración física en la obra real mediante el sistema de transferencia persiguiendo tres requisitos esenciales: la calidad y fidelidad de reproducción de las imágenes, la inocuidad del sistema, y la estabilidad de los materiales. Los ensayos realizados nos llevan a afirmar que la transferencia tramada permite lograr una calidad de la imagen transferida bastante elevada, con un 70% de tinta transferida, algo imperceptible en entornos de pintura mural. Mediante la aplicación de puntos de adhesivo se ha mejorado notablemente la estabilidad de la imagen, dotando a la transferencia de suficiente elasticidad como para adaptarse a las irregularidades de un soporte mural, y se ha reducido la influencia de la transferencia en el conjunto, permitiendo una transpiración forzada y reduciendo el exceso de brillo. Los materiales han sido sometidos a ensayos bastante agresivos, por lo que se considera que en un entorno mural controlado deberían ser capaces de asegurar una buena estabilidad física y química, al menos equiparable a las alternativas tradicionales. Tras analizar los resultados obtenidos, podemos afirmar que los objetivos perseguidos al inicio de la investigación han sido logrados y que el sistema de reintegración mediante transferencia tramada en pintura mural puede considerarse una alternativa viable a los métodos tradicionales en aquellos trabajos que puedan apoyarse en la imagen digital para la reconstrucción estética de faltantes.

BIBLIOGRAFÍA

ALAIX, Manel. Evolución de las réplicas de arte parietal, un equipamiento museístico singular. En: *ERPH Revista electrónica de patrimonio histórico*. Granada: Universidad de Granada, 2019, vol. 25. ISSN: 1988-7213

ARANGO, Iván *et al.* Impresión digital Inkjet sobre formas cilíndricas con tintas UV. En: *Revista de Investigación Interdisciplinaria: Grupo de trabajo en nuevas tecnologías de diseño y manufactura-automatización*, 2015, nº5. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2015. ISSN: 2011-2416. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Valentina_Ramirez_Hernandez/publication/296707252_Propuesta_en_el_secuenciamiento_de_actividades_en_la_integracion_del_ecodisenio_y_disenio_para_remanufacturar/links/56da29c308aeb4638bba109.pdf#page=109

BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. *Reconstrucción de pintura mural mediante impresión directa con sistemas InkJet robotizados*. Roig Picazo, Regidor Ros, Ceccarelli (dir.) Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, 2014. [Consulta 04-2020] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/37985>

COLALUCCI, Gialuigi. I lavori di ricostruzione degli affreschi della Cappella Ovetari. En: VV.AA. *Restauración de pintura mural. Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. ROIG PICAZO, Pilar y NEBOT DÍAZ, Esther (ed.). Valencia: Editorial UPV. 2007. ISBN: 978-84-8363-115-7

GARCÍA JIMÉNEZ, Jesús. *Impresión Digital*. Barcelona: Ediciones CPG, 2015

GETTY CONSERVATION INSTITUTUE. Getty Conservation Institute completes work at the tomb of King Tutankhamen. En: *News From the Getty*. Los Ángeles, EE.UU: Getty Conservation Institute, 2019. [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://news.getty.edu/content/1208/files/Press%20Release%20-%20Tut%20Completion1.pdf>

GIANNINI, Cristina. «Dalt d'una mula.» *Franco Steffanoni, restaurador a Catalunya Història d'una tècnica de restauració inventada a Bèrgam i exportada a Europa*. En: Butlletí del Museu Nacional d'Art de Catalunya, nº10. Barcelona : Museu Nacional d'Art de Catalunya, 2009. ISSN: 1133-6455. [Consulta: 03-2020] Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/ButlletiMNAC/article/view/207019>

HOATH, Stephen D. *Fundamentals of inkjet printing: the science of inkjet and droplets*. Nueva Jersey, EE.UU.: John Wiley & Sons, 2016. ISBN: 9783527337859

HUTCHINGS, Ian. Impresión por chorro de tinta para la decoración de baldosas: Tecnología y oportunidades. En: *World Congress on Ceramic Tile Quality*, Castellón, 2010. [Consulta 04-2020] Disponible en: <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2010233.pdf>

JÜRGENS, Martin C. *The digital print: Identification and preservation*. Los Ángeles: Getty Publications, 2009. ISBN 0892369604

LASHERAS, José Antonio *et al.* La Altamira del siglo XXI: el nuevo museo y centro de investigación de Altamira. En: *Patrimonio histórico de Castilla y León*. Castilla y León: Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León, 2002, nº 8. ISSN: 1578-5513

LO MONACO, Angela. Colour measurements of surfaces to evaluate the restoration materials. En: *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology*, Vol. 8084. San Francisco, EE.UU.: International Society for Optics and Photonics, 2011

MALGAT, Charlotte; DUVAL Mélanie y GAUCHON, Chrisophe. Facsimiles and transfer of heritage value: The rock art cave Chauvet-Pont-d'Arc. En: *Muséologie et recherches sur la culture*. Avignon, Francia: Culture & Musées, vol. 25, 2015.

MARTÍN REY, Susana; GUEROLA BLAY, Vicente y CASTELL AGUSTÍ, María. *Actas del Congreso Internacional de Restauración de Pinturas sobre Lienzo de Gran Formato*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2010. ISBN: 8483636107

MERCADO HERVÁS, Marina S. Técnicas y procedimientos de reintegración cromática. En: *Cuadernos de restauración: publicación sobre conservación y restauración de bienes culturales*. Sevilla: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Bellas Artes de Andalucía, 2009, vol. 7. ISSN: 1138-1299 [Consulta: 04-2020] Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64512/Marina%20Mercado%20Herv%C3%A1s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. pp. 5-12.

MOLINA GUIXOT, Claudia. La Creación Artística Digital: Procesos de Transferencia Inkjet. En: *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*, Valencia, 2017. Valencia: Editorial UPV, 2017 [Consulta 04-2020] Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ANIAV/ANIAV2017/paper/viewFile/4875/2724>

MORENO-NAVARRO, Antoni González. La restauración de la iglesia de Sant Quirze de Pedret (Barcelona, España). En: *Informes de la Construcción*, 1996, vol. 48, nº 445. ISSN: 0020-0883

PASTOR, Jesús y ALCALÁ, José R. *Procedimientos de transferencia en la creación artística*. Pontevedra: Diputación Provincial de Pontevedra, Servicio de Publicaciones, 1997. ISBN: 84-88363-99-0

PELOSI, Claudia *et al.* A methodological approach to study the stability of selected watercolours for painting reintegration, through reflectance spectrophotometry, Fourier transform infrared spectroscopy and hyperspectral imaging. En: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier, 2018. ISSN: 1386-1425

PÉREZ GONZÁLEZ, Carmen. *Propuesta de un soporte basado en fibra de carbono y resinas termoestables*. Huertas Torrejón, Manuel (dir.). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1997. [Consulta: 05-2020] Disponible en: <https://eprints.ucm.es/1741/1/T21489.pdf>

PICAZO ROIG, Pilar. Evolución de los diversos Proyectos de Restauración de las pinturas murales de la bóveda de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia. En: VV.AA. *Restauración de pintura mural. Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. ROIG PICAZO, Pilar y NEBOT DÍAZ, Esther (ed.). Valencia: Editorial UPV. 2007. ISBN: 978-84-8363-115-7

REGIDOR ROS, José Luis *et al.* Pictorial restoration of frescos by transferring inkjet prints: the case of Palomino's frescos in the church of Santos Juanes in Valencia. En: *Arché*. Valencia: Editorial UPV. 2007, nº2. ISSN-e: 2445-1150 [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/32167/2007_02_031_038.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REGIDOR ROS, José Luis *et al.* Transferencia de impresiones Ink Jet, una herramienta para la reconstrucción pictórica de faltantes. En: *Arché*. Valencia, Editorial UPV, 2008, nº 3. ISSN-e: 2445-1150. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31394/2008_03_033_042.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REGIDOR ROS, José Luis. Capítulo XV, Impresiones digitales sobre soportes temporales: Nuevas soluciones para la reintegración o reproducción de murales. En: SHANK, Will; FUSTER LÓPEZ, Laura y SÁNCHEZ PONS, Mercedes. *Conservation Issues in Modern and Contemporary Murals*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge Scholars Publishing, 2015. ISBN: 1443872334

REGIDOR ROS, José Luis. *Estabilidad, protección y aceptación de las protecciones Ink Jet en procesos de creación y conservación de obras de arte*. Roig Picazo y Martínez Bazán (dir.) Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. 2003

REGIDOR ROS, José Luis. Exposición de los fragmentos conservados en la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia. Planteamiento para una reconstrucción pictórica con medios de impresión digital. En: VV.AA. *Restauración de pintura mural. Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. ROIG PICAZO, Pilar y NEBOT DÍAZ, Esther (ed.). Valencia: Editorial UPV. 2007. ISBN: 978-84-8363-115-7

REGIDOR ROS, José Luis. Las impresiones *inkjet* en los procesos de restauración de obras de arte. En: *Actas del XV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Murcia, 2004. Murcia: Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia, 2004. [Consulta 04-2020] Disponible en: http://media.cervantesvirtual.com/s3/BVMC_OBRAS/014/a73/448/2b2/11d/fac/c70/021/85c/e60/64/mimes/014a7344-82b2-11df-acc7-002185ce6064.pdf

REGIDOR ROS, José Luis. Puesta en práctica de soluciones propuestas para las pinturas arracadas de Palomino en la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia. En: *Actas del XVIII Congreso Internacional Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Granada, 2011. Granada: Universidad de Granada, 2011. ISBN: 978-84-338-5339-4

RIERA MORA, Anna. La capella Ovetari o la feina de recomposar un puzle. En: *UNICUM*. Barcelona: Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya, 2007, nº 6. ISSN: 1579-3613 [Consulta 04-2020] Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/UNICUM/article/view/290266>

ROSALENY MADERO-CANDELAS, Alba. *Transferencia de impresiones inkjet para reintegración de pintura sobre lienzo: Estudios de compatibilidad*. Regidor Ros, Martín Rey y Valcárcer Andrés (dir.). Trabajo final de máster, Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València, 2011. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15330/TFM_Alba_Rosaleny.pdf?sequence=1

RUIZ DE DIEGO, Sara; MUÑOZ VIÑAS, Salvador y ANTÓN GARCÍA, Ester. Técnicas modernas de impresión en la creación artística contemporánea: xerografía vs. Inkjet. En: *Conservación de Arte Contemporáneo*, 17ª jornada, 2016. Madrid: Museo Reina Sofía, 2016. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://www.academia.edu/36059079/T%C3%A9cnicas_modernas_de_impresi%C3%B3n_en_la_creaci%C3%B3n_art%C3%ADstica_contempor%C3%A1nea_xerograf%C3%ADa_vs._inkjet

SÁNCHEZ ORTÍZ, Alicia *et al.* Investigación sobre la estabilidad química y óptica de materiales contemporáneos para reintegración cromática. En: *IV Congreso del GEIIC*, Cáceres, 2009. Madrid: GEIIC, 2009

SÁNCHEZ ORTÍZ, Alicia; MICÓ BORÓ, Sandra. *Colores comerciales para retoque pictórico de lagunas en restauración del patrimonio: Evaluación de diferencias de color y cambios de solubilidad después de procesos de envejecimiento acelerado*. En: IX Congreso Nacional del Color. Alicante, 2010. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2010. ISBN: 978-84-9717-144-1

SÁNCHEZ PONS, Mercedes. *Revisión de criterios técnicos y teóricos en torno a la reintegración de pintura mural al fresco. Aplicación en las pinturas murales de A. Palomino en la bóveda de la nave central de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia*. Bosch Reig (dir.) Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. 2002

SORIANO SANCHO, Pilar; PONS OSCA, Julia y ROIG PICAZO, Pilar. En torno a las pinturas murales arracadas de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia: Estudios para la protección, separación y sustitución de su antiguo soporte. En: *Arché*. Valencia : Editorial UPV, 2006, nº 1. ISSN-e: 2445-1150 [Consulta 05-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/32359/2006_01_017_024.pdf?sequence=1&isAllo wed=y

SORIANO SANCHO, Pilar. *Los frescos de Palomino en la bóveda de la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia: Estudio y aplicación de un nuevo soporte*. Roig Picazo, Pilar y Osca Pons, Julia (dir.) Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, 2005. [Consulta 05-2020] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/1825>

TORREGROSA VERDEJO, Marta. *Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de Valencia*. Regidor Ros y Valcárcel Andrés (dir.) Trabajo final de máster, Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València. 2016.

VALCÁRCCEL ANDRÉS, Juan Cayetano; REGIDOR ROS, José Luis, BLANCO-MORENO PÉREZ, Francisco José. Reconstrucción estética generada por imagen impresa digital (REGIID). Aplicación a la obra "La Glorificación de San Francisco de Borja", sita en la Galería Daurada del Palau Ducal de Gandía. En: *Arché*, 2010, nº 4-5. Valencia: Editorial UPV, 2010. ISSN-e: 2445-1150. [Consulta 04-2020] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30754/2010_04-05_169_174.pdf?sequence=1

VOGT, Barbara. *Stability Issues and Test Methods for Inkjet Materials*. C. Blendl y M. Reilly (dir.). Tesis doctoral, Department of Image Engineering, University of Applied Science, Colonia, Alemania, 2001. [Consulta: 03-2020]. Disponible en: http://www.image-engineering.de/content/library/diploma_thesis/barbara_vogt_inkjet_stability.pdf

WHITE, Garrett. Nash Editions: Fine Art Printing on the Digital Frontier. En: *Digital Journalist*. Austin, EE.UU: Digital Journalist, 2001. Issue 0105. [Consulta:03-2020] Disponible en: http://digitaljournalist.org/issue0105/nash_intro.htm

WILHELM IMAGING RESEARCH. *HP Designjet Z3100 and HP Vivera Pigment Inks*. [Consulta 03-2020] Disponible en: <http://www.wilhelm-research.com/hp/Z3200.html>

WILHELM, Henry. A 15-year history of digital printing technology and print permanence in the evolution of digital fine art photography—from 1991 to 2006. En: *En NIP & Digital Fabrication Conference*. Virginia, EE.UU: Society for Imaging Science and Technology, 2006

ANEXO

1. Índice de elementos:

1.1. Figuras

Figura 1. Proceso de reconstrucción cromática de las pinturas de la Iglesia de los Santos Juanes. Fuente: REGIDOR ROS, José Luis

Fig. 2. Proceso de reconstrucción cromática de las pinturas de la Iglesia de los Santos Juanes. Fuente: REGIDOR ROS, José Luis

Fig. 3. Aspecto de una impresión *inkjet* bajo observación mediante lupa binocular

Fig. 4. Aspecto de una impresión *inkjet* bajo observación mediante lupa binocular

Fig. 5. Reconstrucción del *marouflage* de López Ruiz en el Teatro Leal de La Laguna, Tenerife. Fuente: VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano

Fig. 6. Detalle de la reconstrucción del *marouflage* de López Ruiz en el Teatro Leal de La Laguna, Tenerife. Fuente: VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan Cayetano

Fig. 7. Robert Rauschenberg. *Fusion (Anagram)*, 1996. Transferencia de tintas *inkjet*. 153.7 x 367.7 cm Whitney Museum of American Art, Nueva York, EE.UU. Fuente: Robert Rauschenberg Foundation ©

Fig. 8. Interior del Monasterio de Santa Maria d'Àneu antes de ser intervenido. Fuente: ARSUS PAPER ©

Fig. 9. Interior del Monasterio de Santa Maria d'Àneu tras la intervención. Fuente: ARSUS PAPER ©

Fig. 10. Pinturas de Pedret. Finales del siglo XI – inicios del siglo XII. Fuente: MUSEU NACIONAL D'ART DE CATALUNYA ©

Fig. 11. Proceso de fabricación del facsímil de las Pinturas de Pedret. Fuente: Fuente: ARSUS PAPER ©

Fig. 12. Facsímil tridimensional de las Pinturas de Pedret en la Fundación MAPFRE, Madrid. Fuente: ARSUS PAPER ©

Fig. 13. Proceso de fabricación del facsímil de la Tumba de Tutankamón. Fuente: ARSUS PAPER ©

Fig. 14. Facsímil de la Tumba de Tutankamón. Fuente: ARSUS PAPER ©

Fig. 15. Reconstrucción de los frescos de Mantegna de la Capilla Ovetari. Fuente: TATTOOWALL©

Fig. 16. Reconstrucción de los frescos de Mantegna de la Capilla Ovetari. Fuente: TATTOOWALL ©

Fig. 17. Sistema de exposición de los frescos de Mantegna en la Capilla Ovetari. Fuente: TATTOOWALL ©

Fig. 18. Estado de la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes antes de ser intervenida. Fuente: REGIDOR ROS, José Luís.

Fig. 19. Fotografía de las pinturas de la bóveda de la Iglesia de los Santos Juanes realizada por J. Alcón. Principios del S.XX

Fig. 20. Detalle de la reconstrucción de un fragmento de las pinturas de Palomino en la Iglesia de los Santos Juanes mediante el sistema REGIID. Fuente: REGIDOR ROS, José Luís

Fig. 21. Preparación de la superficie de las probetas de fibra de carbono. Aplicación de Plextol® B500 y gravilla fina.

Fig. 22. Enlucido de las probetas de yeso con un mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 23. Proceso de perfilado de las probetas empleando el *software* i1Studio de X-Rite. Impresión del primer *target*

Fig. 24. Transferencia del *target* sobre una probeta

Fig. 25. Resultado de la transferencia del *target* sobre una probeta

Fig. 26. Medición del *target* mediante el espectrofotómetro X-Rite i1Studio

Fig. 27. El *software* i1Studio interpreta la diferencia entre el color "real" generado digitalmente y el color resultante de la impresión y la transferencia sobre el mortero

Fig. 28. El *software* i1Studio interpreta la diferencia entre el color "real" generado digitalmente y el color resultante de la impresión y la transferencia sobre el mortero

Fig. 29. El software crea un archivo .ICC específico asociado al ajuste tonal para cada trabajo. Este perfil se puede guardar en nuestro dispositivo para poder aplicarlo posteriormente en los ajustes de impresión.

Fig. 30. Aplicación del adhesivo Wunda Size Synthetic Gold Size con ayuda de un rodillo de espuma

Fig. 31. Eliminación del Papelgel® con ayuda de una aguja una vez las tintas han quedado transferidas en la superficie

Fig. 32. Probeta A.1. Transferencia continua sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 33. Probeta A.2. Transferencia continua sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 34. Probeta A.3. Transferencia continua sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 35. Probeta A.4. Transferencia continua sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 36. Detalle de la PROBETA A.4.

Mediante observación macroscópica se aprecian craqueladuras y puntos sin tinta

Fig. 37. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.1. en la que se aprecian grietas en la superficie transferida

Fig. 38. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.2. en la que se aprecia la ruptura y deformación de la transferencia

Fig. 39. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.3. en la que se aprecian grietas en la superficie transferida

Fig. 40. Detalle con lupa binocular de la Probeta A.4. en la que se aprecian grietas y puntos sin tinta en la transferencia

Fig. 41. Aplicación del adhesivo mediante una trama tradicional de puntos regulares del 70%

Fig. 42. Probeta B.1. Transferencia tramada sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 43. Probeta B.2. Transferencia tramada sobre soporte de fibra de carbono enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 44. Probeta B.3. Transferencia tramada sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 45. Probeta B.4. Transferencia tramada sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 46. Probeta B.5. Transferencia tramada sobre soporte de yeso enlucido con mortero de reintegración de pintura mural

Fig. 47. Detalle de la probeta B.1 en la que aparecen algunos daños superficiales que no llegan a comprometer la imagen en las zonas colindantes

Fig. 48. Detalle de la probeta B.4

Fig. 49.

Detalle con lupa binocular de la Probeta B.2 en la que se aprecia la separación forzada

Fig. 50.

Detalle con lupa binocular de la Probeta B.2 en la que se aprecia la separación forzada

Fig. 51. Medición del índice de absorción de la probeta B.5 mediante el kit de esponjas de contacto de C.T.S.

Fig. 52. Medición del índice de absorción de la probeta C.1 mediante el kit de esponjas de contacto de C.T.S.

Fig. 53. PROBETA B.1 antes del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 54. PROBETA B.1 después del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 55. PROBETA B.2 antes del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 56. PROBETA B.2 después del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 57. PROBETA B.3 antes del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 58. PROBETA B.3 después del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 59. PROBETA B.4 antes del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 60. PROBETA B.4 después del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 61. PROBETA B.5 antes del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 62. PROBETA B.5 después del ensayo de envejecimiento acelerado

Fig. 63. Captura de pantalla de Measure Tool® con los colores medidos en de los colores detectados la PROBETA B.2

Fig. 64. Detalle con lupa binocular del punto de medición 19 de la PROBETA B.2

Fig. 65. Captura de pantalla de Measure Tool® con los colores medidos en de los colores detectados la PROBETA B.4

Fig. 66. Detalle con lupa binocular del punto de medición 19 de la PROBETA B.4

1.2. Tablas

Tabla 1. Configuración de las probetas

Tabla 2. Mediciones de brillo en probetas sin transferencia

Tabla 3. Mediciones de brillo en probetas con transferencia continua

Tabla 4. Mediciones de brillo en probetas con transferencia tramada

Tabla 5. Cálculo del índice de absorción en probetas sin transferencia

Tabla 6. Cálculo del índice de absorción en probetas con transferencia continua

Tabla 7. Cálculo del índice de absorción en probetas con transferencia tramada

Tabla 8. Cálculo del de la alteración de color (ΔE^*) por ciclo y por probeta

Tabla 9. Cálculo del de la alteración de color (ΔE^*) por color y ciclo

Tabla 10. Cálculo del de la alteración de color (ΔE^*) por ciclo y por probeta

Tabla 11. Medición del brillo antes de las pruebas de envejecimiento acelerado

Tabla 12. Medición del brillo después de las pruebas de envejecimiento acelerado

1.3 Gráficas

Gráfica 1. Fases y materiales válidos en el sistema reconstrucción estética generada por imagen digital

Gráfica 2. Cronograma de la evolución en las investigaciones y proyectos relacionados con el sistema REGIID

Gráfica 3. Comparativa del brillo entre el mortero sin transferencia y las probetas con transferencia continua y transferencia tramada

Gráfica 4. Comparativa del brillo entre el mortero sin transferencia y las probetas con transferencia continua y transferencia tramada

Gráfica 5. % de pérdida de absorción en las probetas con transferencia continua y transferencia tramada

Gráfica 6. Alteración del color por ciclo

Gráfica 7. Alteración del color por probeta

Gráfica 8. Alteración por color y ciclo

2. Mediciones de brillo

2.1. Transferencia continua

A.1			
Disparo	20°	60°	85°
1	0,8	4,3	1,7
2	1,1	5,7	2,5
3	2,3	13,8	5,1
4	1,9	11,4	6,2
5	1,1	5,8	2,7
6	2,8	16,6	10,8
7	1,4	11,5	4,5
8	1,3	8,9	3,1
9	2,4	14	6
10	2,3	14,9	5
11	0,6	4,5	1,7
12	1,5	6,4	1,8
13	1,3	9,6	6
14	2,4	16,3	12,5
15	2,2	10	2,4
16	0,6	5,3	2,3
17	3	19,9	9,1
18	1,5	9,1	3,1
19	1	4,4	1,1
20	1,4	10,1	2,7
MEDIA	1,65	10,13	4,52

A.2			
Disparo	20°	60°	85°
1	1,1	7,7	5
2	1,2	5,9	3,8
3	1,3	9	6,7
4	1,1	7	4,1
5	2	10,3	4
6	1,1	6,5	2,5
7	1,2	6,5	2
8	0,9	6,8	2
9	1,1	5,8	2,5
10	1,6	11,8	6,6
11	2	10,5	3,4
12	1,8	11,6	6,4
13	1,6	6,6	3
14	1,3	7	2,2
15	1,2	9,1	3,5
16	2,2	15,4	10,4
17	1,2	5,8	2,3
18	0,6	3,3	1,9
19	1,2	3,6	1,7
20	0,5	3,7	1,2
MEDIA	1,31	7,70	3,76

A.3			
Disparo	20°	60°	85°
1	0,6	4,9	1,3
2	0,9	4,4	1,3
3	0,5	3,4	1,5
4	0,9	4,5	1,5
5	1,2	6,3	2,7
6	1,3	8,4	4,3
7	1,1	9,3	3,3
8	1,2	9,3	3,3
9	0,8	4,9	2,2
10	0,6	4,2	1,4
11	1,1	6,1	1,6
12	1,8	11,4	4
13	1,5	6,6	3
14	0,9	5,3	1,7
15	1,1	8,5	2,1
16	1,2	9,3	3,7
17	1,2	5,6	3,2
18	1,2	9,9	5,6
19	1	4,4	1,1
20	0,5	2,9	0,8
21	0,8	5,1	1,5
22	1,5	8,2	1
23	0,8	6	3,1
24	1,3	4,9	1,7
25	0,7	5,5	1,4
26	1,2	5,3	1,8
27	1,2	5,3	1,8
28	0,6	3,9	1,8
29	0,7	3,9	1,5
30	1	3,7	1
MEDIA	1,01	6,05	2,21

A.4			
Disparo	20°	60°	85°
1	2,6	16,8	7,3
2	1,5	9,4	3,1
3	0,9	5,6	2,5
4	1,5	6,8	3,8
5	1,4	10,4	4,9
6	1,3	6,7	4,7
7	1,2	8,5	4
8	1,1	6,9	3,6
9	1,1	7,3	4
10	1,3	8	4
11	1,6	11,8	6,1
12	1,4	12,3	6,1
13	1,8	13	5,8
14	0,9	5,1	3
15	1,3	10	4,9
16	1	6,7	4,8
17	2,5	19,7	13,2
18	2,3	16,2	10,5
19	2,3	15,8	10
20	1,6	10,8	4,1
21	0,8	6,1	2,9
22	2,3	13,2	5,3
23	1	5,5	4
24	0,8	5,5	4
25	1,8	8,3	2,6
26	0,8	5,8	2,3
27	2	13,4	8,4
28	3,6	22,4	16,3
29	3,4	21,7	15,9
30	2,7	19,2	14,7
MEDIA	1,66	10,96	6,23

2.2. Transferencia tramada

B.1				B.1			
Medición inicial				Medición final¹⁰⁷			
Disparo	20°	60°	85°	Disparo	20°	60°	85°
1	1	0,6	0	1	0,6	1,2	0,4
2	0,5	1,1	0,5	2	0,6	1,2	0,4
3	0,7	1,3	0,3	3	0,6	1,2	0,4
4	0,5	1,1	0,4	4	0,4	1	0,4
5	0,4	1	0,3	5	0,7	1,6	0,5
6	1	1,9	0,3	6	0,7	1,4	0,4
7	0,3	0,9	0,5	7	0,3	0,9	0,4
8	0,6	1,2	0,5	8	0,7	1,2	0,3
9	0,6	1,1	0,2	9	0,7	1,2	0,3
10	0,7	1,2	0,4	10	0,6	1,3	0,4
11	0,5	1,1	0,5	11	0,4	1	0,4
12	0,4	1	0,4	12	0,9	1,8	0,5
13	1,1	2	0,5	13	0,7	1,3	0,4
14	0,4	0,9	0,4	14	0,3	0,8	0,4
15	0,6	1,1	0,3	15	0,6	1,2	0,3
16	0,4	0,8	0,3	16	0,6	1,1	0,4
17	0,2	0,8	0,4	17	0,4	0,8	0,3
18	0,2	0,7	0,4	18	0,2	0,7	0,3
19	0,5	1,2	0,3	19	0,4	0,9	0,3
20	0,4	1	0,5	20	0,6	1,2	0,4
21	0,3	0,8	0,5	21	0,3	0,8	0,3
MEDIA	0,54	1,09	0,38	MEDIA	0,54	1,13	0,38

¹⁰⁷ Medición final tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado por radiación UV

B.2			
Medición inicial			
Disparo	20°	60°	85°
1	0,6	1,3	0,3
2	0,6	1,3	0,4
3	0,6	1,3	0,2
4	0,5	1,1	0,2
5	0,5	0,8	0,4
6	1	1,8	0,2
7	0,4	0,8	0,2
8	0,6	1,2	0,2
9	0,6	1,1	0,2
10	0,6	1,2	0,2
11	0,6	1,1	0,3
12	0,5	0,8	0,3
13	1	1,7	0,3
14	0,4	0,8	0,2
15	0,6	1	0,2
16	0,4	1	0,5
17	0,4	0,8	0,3
18	0,3	0,8	0,5
19	0,5	1,1	0,2
20	0,4	1,1	0,2
21	0,4	0,8	0,2
MEDIA	0,55	1,09	0,27

B.2			
Medición final			
Disparo	20°	60°	85°
1	0,7	1,1	0,2
2	0,6	1,2	0,2
3	0,7	1,1	0,2
4	0,5	0,8	0,2
5	0,9	1,3	0,2
6	0,7	1,2	0,2
7	0,5	0,8	0,2
8	0,7	1,2	0,2
9	0,7	1,2	0,2
10	0,6	1,2	0,3
11	0,7	1,2	0,3
12	1	1,6	0,2
13	0,5	0,9	0,2
14	0,4	0,8	0,2
15	0,6	1	0,2
16	0,4	0,8	0,3
17	0,3	0,8	0,3
18	0,4	0,8	0,3
19	0,4	1	0,2
20	0,6	1,1	0,3
21	0,4	0,8	0,1
MEDIA	0,59	1,04	0,22

B.3				B.3			
Medición inicial				Medición final			
Disparo	20°	60°	85°	Disparo	20°	60°	85°
1	0,4	1,2	0,5	1	0,6	1,6	0,7
2	0,4	1	0,6	2	0,5	1,4	0,6
3	0,3	0,8	0,4	3	0,6	1,7	0,9
4	0,8	1,6	0,5	4	0,5	1,3	1,2
5	0,4	1	0,4	5	0,5	1,2	0,7
6	0,2	0,8	0,3	6	0,9	1,7	0,5
7	0,3	0,6	0,1	7	0,3	0,8	0,3
8	0,5	1,1	0,6	8	0,7	1,5	0,4
9	0,4	1	1	9	0,6	1,3	0,4
10	0,3	0,9	0,9	10	0,5	1,4	0,8
11	0,8	1,8	0,6	11	0,5	1,1	0,6
12	0,3	0,8	0,4	12	0,7	1,4	0,3
13	0,2	0,8	0,2	13	0,6	1,3	0,2
14	0,4	0,8	0,2	14	0,2	0,9	0,2
15	0,4	1	0,2	15	0,5	0,9	0,2
16	0,3	0,8	0,4	16	0,4	0,8	0,4
17	0,2	0,8	0,7	17	0,3	0,8	0,7
18	0,2	0,7	0,6	18	0,3	0,8	0,7
19	0,4	1,1	0,3	19	0,4	1	0,3
20	0,4	1	0,5	20	0,5	1	0,5
21	0,4	0,8	0,7	21	0,3	0,8	0,6
MEDIA	0,38	0,97	0,48	MEDIA	0,50	1,18	0,53

B.4				B.4			
Medición inicial				Medición final			
Disparo	20°	60°	85°	Disparo	20°	60°	85°
1	0,6	1,4	0,5	1	0,6	1,3	0,5
2	0,4	1,1	0,3	2	0,5	1,3	0,5
3	0,4	1	0,6	3	0,5	1,3	0,2
4	0,7	1,7	0,7	4	0,4	1,1	0,5
5	0,4	1,5	0,7	5	0,5	1,3	0,7
6	0,3	1,3	0,7	6	0,9	2	0,7
7	0,4	1,4	0,7	7	0,3	1	0,5
8	0,5	1,2	0,3	8	0,7	1,5	0,3
9	0,5	1,3	0,5	9	0,7	1,5	0,3
10	0,4	1,1	0,5	10	0,6	1,3	0,4
11	0,6	1,5	0,5	11	0,5	1,1	0,4
12	0,8	1,8	0,4	12	0,7	1,5	0,4
13	0,6	1,5	0,4	13	0,9	1,9	0,3
14	0,3	1	0,3	14	0,4	1	0,3
15	0,4	1,4	0,4	15	0,5	1,3	0,4
16	0,3	1,1	0,4	16	0,3	1,1	0,5
17	0,3	1,1	0,5	17	0,4	1	0,4
18	0,3	1	0,5	18	0,3	0,9	0,3
19	0,5	1,1	0,2	19	0,3	1,1	0,4
20	0,4	1,2	0,5	20	0,6	1,3	0,4
21	0,4	1	0,3	21	0,4	1,1	0,3
MEDIA	0,45	1,27	0,47	MEDIA	0,52	1,28	0,41

B.5			
Medición inicial			
Disparo	20°	60°	85°
1	0,6	1,3	0,4
2	0,4	1,1	0,4
3	0,3	1	0,4
4	0,9	1,8	0,4
5	0,4	1,1	0,4
6	0,2	0,8	0,2
7	0,2	1,1	0,6
8	0,6	1,7	1
9	0,5	1,5	1
10	0,4	1,3	1
11	0,5	1,4	1
12	0,8	1,9	0,7
13	0,3	1,2	0,6
14	0,2	1,1	0,7
15	0,4	1,3	0,4
16	0,2	0,8	0,6
17	0,2	1,1	0,7
18	0,2	1	0,7
19	0,4	1,5	0,5
20	0,5	1,3	0,5
21	0,3	1	0,5
MEDIA	0,40	1,25	0,60

B.5			
Medición final			
Disparo	20°	60°	85°
1	0,6	1,4	0,4
2	0,6	1,4	0,5
3	0,6	1,5	0,7
4	0,4	1,3	0,8
5	0,5	1,6	0,8
6	0,9	2	0,6
7	0,3	0,9	0,4
8	0,7	2,2	1
9	0,5	1,5	1
10	0,5	1,3	1
11	0,7	2	0,9
12	0,7	2	0,8
13	0,4	1,4	0,7
14	0,3	1,3	0,7
15	0,5	1,1	0,5
16	0,5	1,1	0,5
17	0,4	1	0,6
18	0,3	1,1	0,5
19	0,3	1	0,4
20	0,4	1,1	0,4
21	0,3	0,9	0,3
MEDIA	0,50	1,39	0,64

2.3. Sin transferencia

C.1			
Disparo	20°	60°	85°
1	1	1,7	0,2
2	1	1,5	0,2
3	1	1,6	0,3
4	1	1,6	0,2
5	1	1,6	0,2
6	1	1,6	0,2
MEDIA	1,00	1,60	0,22

C.2			
Disparo	20°	60°	85°
1	1	1,9	0,2
2	1	1,8	0,2
3	1	1,8	0,3
4	1	1,9	0,3
5	1	1,9	0,2
6	1	2,1	0,4
MEDIA	1,00	1,90	0,27

3. Índice de absorción ($W.a.$)

A.1 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia continua			
Medición	P_i	P_f	$W.a.$
1	14,03	13,56	0,0395
2	13,93	13,3	0,0530
3	13,34	12,9	0,0370
MEDIA			0,0432

A.2 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia continua			
Medición	P_i	P_f	$W.a.$
1	14,06	13,64	0,0353
2	13,86	13,32	0,0454
3	13,99	13,69	0,0252
MEDIA			0,0353

A.3 — Soporte de yeso + mortero + transferencia continua			
Medición	P_i	P_f	$W.a.$
1	12,96	12,88	0,0067
2	13,46	13,39	0,0058
3	13,37	13,29	0,0067
MEDIA			0,0064

A.4 — Soporte de yeso + mortero + transferencia continua			
Medición	P_i	P_f	$W.a.$
1	13,56	13,53	0,0025
2	14,19	14,11	0,0067
3	14,06	14,01	0,0042
MEDIA			0,0044

B.1 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia tramada			
Medición inicial			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	13,7	13,1	0,0505
2	13,6	12,9	0,0589
3	13,66	12,8	0,0724
MEDIA			0,0606

B.1 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia tramada			
Medición final¹⁰⁸			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	14,47	13,76	0,0598
2	14,11	13,44	0,0564
3	14,68	13,95	0,0614
MEDIA			0,0592

B.2 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia tramada			
Medición inicial			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	13,45	12,75	0,0589
2	13,54	12,89	0,0547
3	14,11	13,41	0,0589
MEDIA			0,0575

B.2 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia tramada			
Medición final			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	13,6	12,98	0,0522
2	14,54	13,84	0,0589
3	13,9	13,2	0,0589
MEDIA			0,0567

B.3 — Soporte de yeso + mortero + transferencia tramada			
Medición inicial			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	14,18	13,48	0,0589
2	14,1	13,92	0,0152
3	14,36	14,11	0,0210
MEDIA			0,0317

B.3 — Soporte de yeso + mortero + transferencia tramada			
Medición final			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	14,08	13,66	0,0354
2	14,13	14,04	0,0076
3	14,59	14,48	0,0093
MEDIA			0,0174

¹⁰⁸ Medición final tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado por radiación UV.

B.4 — Soporte de yeso + mortero + transferencia tramada

Medición inicial			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	14,34	14,31	0,021
2	14,12	14,11	0,0085
3	14,02	14,01	0,011
MEDIA			0,0135

B.4 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia tramada

Medición final			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	14,46	14,35	0,0093
2	14,33	14,24	0,0076
3	14,15	14,04	0,0093
MEDIA			0,0087

B.5 — Soporte de yeso + mortero + transferencia tramada

Medición inicial			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	17,25	17,17	0,0067
2	16,22	16,18	0,0034
3	17,16	17,08	0,0067
MEDIA			0,0056

B.5 — Soporte de fibra de carbono + mortero + transferencia tramada

Medición final			
Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	13,56	13,49	0,0059
2	13,87	13,81	0,0051
3	14,16	14,06	0,0084
MEDIA			0,0065

C.1 — Soporte de fibra de carbono + mortero sin transferencia

Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	13,57	13,08	0,0412
2	13,88	13,36	0,0438
3	14,33	13,8	0,0446
MEDIA			0,0432

C.2 — Soporte de yeso + mortero sin transferencia

Medición	<i>Pi</i>	<i>Pf</i>	<i>W.a.</i>
1	13,96	13,69	0,0227
2	14,25	14,04	0,0177
3	13,79	13,55	0,0202
MEDIA			0,0202

4. Mediciones colorimétricas

ΔE^* tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado UV									
PROBETA	DISPARO	REFERENCIA	L*1	L*2	a*1	a*2	b*1	b*2	ΔE
B.1	1	Negro	68,76	69,37	0,5	1,55	0,57	-1,00	1,99
	2	Cían	67,69	69,93	0,56	2,23	0,06	-2,00	3,48
	3	Magenta	72,73	73,41	1,05	2,94	1,77	-0,64	3,14
	4	Azul	73,79	75,05	-20,69	-19,33	-22,69	-20,27	3,05
	5	Amarillo	74,21	75,42	-20,12	-18,53	-22,38	-19,33	3,64
	6	Magenta	67,88	69,13	2,7	4,58	10,43	3,86	6,95
	7	Negro	66,94	68,14	37,39	35,62	-2,38	-4,96	3,35
	8	Negro	66,52	67,06	37,33	37,06	-2,41	-6,12	3,76
	9	Cían	53,53	56,91	11,75	10,29	11,92	3,69	9,02
	10	Magenta	60,74	63,41	-17,59	-16,45	-34,97	-30,00	5,75
	11	Azul	62,95	64,50	-14,97	-14,44	-29,67	-26,16	3,87
	12	Amarillo	47,98	50,01	3,76	4,36	6,13	3,82	3,13
	13	Magenta	86,48	87,69	-5,29	-5,64	55,55	46,85	8,79
	14	Negro	87,69	89,51	-4,48	-5,25	51,48	34,59	17,00
	15	Figura	57,3	58,35	7,69	8,77	7,06	3,41	3,94
	16	Figura	52,87	59,74	43,2	41,87	0,72	-1,19	7,25
	17	Figura	61,03	61,54	41,5	40,72	-0,67	-1,88	1,53
	18	Figura	71,54	72,90	1,7	4,54	8,08	1,71	7,11
	19	Figura	43,98	43,68	1,08	1,01	-0,01	0,26	0,41
	20	Figura	50,55	50,84	0,64	0,61	-0,38	-0,25	0,32
	21	Figura	49,99	56,37	3,47	3,63	8,42	4,89	7,29
	MEDIA								4,99

ΔE^* tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado UV

PROBETA	DISPARO	REFERENCIA	L*1	L*2	a*1	a*2	b*1	b*2	ΔE
B.2	1	Negro	65,36	68,23	0,66	1,88	0,74	-1,19	3,67
	2	Cían	68,05	72,08	0,8	1,96	0,18	-1,32	4,46
	3	Magenta	68,02	71,19	1,82	3,51	1,57	-1,27	4,58
	4	Azul	74,7	73,87	-20,67	-20,20	-21,62	-21,09	1,09
	5	Amarillo	78,32	78,63	-15,63	-14,59	-17,04	-15,46	1,92
	6	Magenta	65,91	68,07	2,29	3,96	12,15	2,52	10,01
	7	Negro	68,14	68,98	37,03	35,75	-1,95	-5,17	3,56
	8	Negro	70,86	72,05	32,91	29,41	-1,98	-4,88	4,70
	9	Cían	57,88	60,49	9,47	9,85	9,96	3,48	7,00
	10	Magenta	66,62	66,23	-13,69	-14,21	-28,81	-26,99	1,94
	11	Azul	64,95	67,46	-14,7	-13,57	-31,49	-25,10	6,96
	12	Amarillo	59,13	58,80	2,38	3,37	4,38	3,35	1,47
	13	Magenta	89,35	89,09	-4,29	-5,40	43,48	40,55	3,14
	14	Negro	89,21	90,26	-5,15	-5,19	49,17	31,54	17,66
	15	Figura	54,36	54,59	8,57	8,89	7,62	4,54	3,10
	16	Figura	66,71	65,59	33,78	34,06	-0,7	-1,45	1,38
	17	Figura	55,4	57,80	51,49	47,21	-0,64	-2,29	5,17
	18	Figura	70,62	73,13	2,13	5,23	8,84	2,07	7,86
	19	Figura	56,06	59,06	0,49	0,38	-0,12	-0,17	3,01
	20	Figura	54,62	54,43	0,64	0,61	-0,03	-0,04	0,19
	21	Figura	61,64	60,19	2,37	2,28	4,92	3,62	1,94
	MEDIA								4,51

ΔE^* tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado UV

PROBETA	DISPARO	REFERENCIA	L*1	L*2	a*1	a*2	b*1	b*2	ΔE
B.3	1	Negro	61,63	63,03	0,76	2,01	0,37	-1,35	2,55
	2	Cían	62,58	63,43	0,59	3,18	0,02	-1,36	3,06
	3	Magenta	66,97	68,95	1,3	4,15	1,4	-1,01	4,23
	4	Azul	68,33	71,11	-25,7	-22,21	-25,9	-21,78	6,07
	5	Amarillo	69,92	72,25	-23,92	-21,44	-25,32	-20,79	5,67
	6	Magenta	59,65	61,99	3,22	6,54	9,1	4,87	5,86
	7	Negro	59,07	61,69	48,2	43,94	-2,78	-5,73	5,81
	8	Negro	61,56	63,83	43,38	40,02	-2,36	-6,97	6,14
	9	Cían	53,86	55,88	9,75	11,12	8,74	3,73	5,57
	10	Magenta	59,89	59,96	-14,82	-17,17	-30,06	-30,32	2,37
	11	Azul	58,89	58,89	-16,75	-18,73	-35,19	-31,23	4,43
	12	Amarillo	46,73	47,22	3,09	5,11	3,73	3,45	2,10
	13	Magenta	86	86,49	-5,24	-6,52	57,99	50,95	7,17
	14	Negro	86,22	87,52	-4,64	-6,37	52,16	42,81	9,60
	15	Figura	52,78	50,22	7,47	11,79	5,14	4,07	5,13
	16	Figura	59,91	57,60	39,08	43,77	-0,38	-0,99	5,26
	17	Figura	58,9	51,15	37,85	52,28	0,01	-1,48	16,45
	18	Figura	68,05	69,22	1,97	5,82	8,14	2,22	7,16
	19	Figura	48,85	44,30	0,2	0,51	-1,69	-0,64	4,68
	20	Figura	44,01	41,93	0,61	0,74	-1,5	-0,54	2,29
	21	Figura	54,58	53,40	3	3,56	5,16	2,29	3,15
	MEDIA								5,46

ΔE^* tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado UV

PROBETA	DISPARO	REFERENCIA	L*1	L*2	a*1	a*2	b*1	b*2	ΔE
B.4	1	Negro	65,44	65,75	0,7	1,65	0,58	-0,86	1,75
	2	Cían	68,21	67,68	0,44	2,13	-0,01	-1,37	2,23
	3	Magenta	59,63	66,73	1	2,57	1,09	-0,35	7,41
	4	Azul	71,66	70,01	-19,61	-22,69	-21,43	-22,63	3,69
	5	Amarillo	71,96	74,13	-19,94	-17,40	-21,27	-17,80	4,82
	6	Magenta	66,5	61,73	2,22	5,14	8,93	3,26	7,96
	7	Negro	63,52	64,46	39,87	40,13	-2,24	-5,54	3,44
	8	Negro	65,85	67,07	36,73	35,02	-2,45	-6,10	4,21
	9	Cían	55,23	59,34	11,33	10,59	11,3	3,50	8,85
	10	Magenta	57,73	58,58	-19,22	-19,83	-37,66	-34,97	2,89
	11	Azul	61,99	62,67	-15,55	-16,01	-31,46	-27,83	3,72
	12	Amarillo	57,28	55,13	3,47	5,54	5,14	3,81	3,27
	13	Magenta	85,26	86,77	-5,81	-6,44	60,94	48,95	12,10
	14	Negro	87,04	88,89	-5,22	-5,20	51,5	32,57	19,02
	15	Figura	62,33	54,08	5,01	8,21	6,38	4,71	9,01
	16	Figura	52,57	57,76	53,92	45,96	-0,38	-1,75	9,60
	17	Figura	60,42	60,99	39,38	38,58	-1,45	-2,38	1,35
	18	Figura	66,87	72,44	2,39	6,13	8,81	0,91	10,36
	19	Figura	43,72	46,56	0,9	0,65	-0,13	-0,43	2,87
	20	Figura	43,94	47,43	0,87	0,79	-0,74	-0,53	3,50
	21	Figura	51,05	57,72	4,29	3,86	8,48	3,14	8,56
	MEDIA								6,22

ΔE^* tras 1000h. en cámara de envejecimiento acelerado UV									
PROBETA	DISPARO	REFERENCIA	L*1	L*2	a*1	a*2	b*1	b*2	ΔE
B.5	1	Negro	63,24	65,01	0,7	1,60	-0,33	-1,19	2,16
	2	Cían	66,46	64,65	0,37	3,23	-1,09	-3,01	3,89
	3	Magenta	56,55	61,92	1,27	3,77	2,89	-0,98	7,08
	4	Azul	71,21	72,85	-19,49	-17,48	-21,21	-18,78	3,55
	5	Amarillo	68,81	72,60	-23,76	-18,61	-25,71	-19,73	8,75
	6	Magenta	54,08	58,34	4,35	6,52	10,64	2,98	9,03
	7	Negro	65,06	65,53	38,12	37,20	-3,03	-5,83	2,98
	8	Negro	59,2	63,27	46,03	39,39	-2,85	-6,46	8,58
	9	Cían	54,04	52,14	10,69	13,83	10,27	5,19	6,27
	10	Magenta	57,14	57,04	-19,65	-20,08	-37,04	-34,94	2,15
	11	Azul	55,9	58,87	-19,03	-18,45	-39	-31,96	7,66
	12	Amarillo	48,89	49,45	5,6	5,68	6,55	3,40	3,20
	13	Magenta	86	87,10	-5,69	-6,18	54,89	47,77	7,22
	14	Negro	85,03	87,56	-6,39	-6,38	63,49	37,73	25,88
	15	Figura	48,64	50,67	8,96	10,27	10,24	3,80	6,88
	16	Figura	55,63	54,82	48,88	47,78	-1,33	-2,10	1,57
	17	Figura	53,33	55,62	50,3	45,56	-0,66	-2,58	5,60
	18	Figura	67,85	70,56	1,73	5,87	9,27	0,19	10,34
	19	Figura	40,36	40,36	0,9	0,92	-1,11	-0,33	0,78
	20¹⁰⁹	Figura	<i>52,25</i>	<i>33,64</i>	<i>0,15</i>	<i>1,48</i>	<i>-2,26</i>	<i>-0,48</i>	<i>18,74</i>
	21	Figura	49,91	51,62	4,09	5,08	8,24	4,44	4,28
	MEDIA								6,39

¹⁰⁹ Esta medición no se ha tenido en cuenta debido a que la zona sufrió un daño superficial, por lo que podría indicar valores erróneos.