

UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Restauración Virtual sobre Pintura de Caballete

Máster en Conservación y Restauración de Bienes
Culturales
2017 / 2018

Autora: Royo Cárcamo, Marta

Tutores: Martínez Bazán, M^a Luisa
Valcárcel Andrés, Juan Cayetano



DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y
RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES



FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

RESUMEN

El siguiente Trabajo Fin de Máster se basa en la aplicación de herramientas digitales a la restauración de los bienes culturales, con el objeto de obtener una imagen virtual del aspecto final de la obra, donde evaluemos de antemano el resultado de la restauración antes de la intervención física.

La limpieza es un proceso irreversible, por lo que hemos considerado que esta imagen previa del resultado final es de gran utilidad para una correcta selección de los procedimientos y de los materiales. Asimismo, la posibilidad de visualizar los resultados de una limpieza en casos de objetos de culto en pequeñas comunidades o en casos de piezas de gran devoción puede ser una herramienta valiosa para concienciar a los feligreses de los cambios que va a sufrir su imagen una vez intervenida.

Primeramente se ha realizado un estudio bibliográfico sobre las diferentes técnicas de restauración virtual utilizadas en nuestros días para, posteriormente, aplicar estas técnicas en a una pintura de caballete. Donde se ha realizado un estudio colorimétrico de varios puntos de la pintura, antes y después de su limpieza. La diferencia entre estas dos medidas colorimétricas ha sido la clave para ejecutar la limpieza virtual de la obra.

Palabras clave: restauración virtual, técnicas digitales, estudio colorimétrico, limpieza virtual, pintura de caballete.

ABSTRACT

This Master's Thesis is based in the application of digital tools for restoration of cultural assets.

In this investigation we intend to obtain a virtual image of the final look of the piece, were we evaluate the result of the restoration beforehand before the physical intervention.

Cleaning is an irreversible process. That is why we consider that the preview image of the final result is of great usefulness for a correct selection of the procedures and tools.

Also, the possibility of visualizing the results of a cleanup in cases of cult objects in small communities or in cases of great devotion can be a valuable tool to raise awareness among the parishioners of the changes that their image will suffer once they have been intervened.

A bibliographic study between the different virtual restoration techniques available has been made and these techniques have been applied in a practical instance on a easel painting.

To achieve this image we have to conduct a colorimetric study of various points in the painting, before and after its cleaning. The difference between the two colorimetric measurements has been the key to execute the virtual cleaning of the piece.

Key words: virtual restoration, digital techniques, colorimetric study, virtual cleaning, easel painting.

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quisiera agradecer a todas las personas que de algún modo me han apoyado en la realización de este Trabajo Fin de Máster.

En primer lugar quisiera dar las gracias a mis tutores Juan Valcarcel y María Luisa Martínez, por su paciencia y dedicación, haciendo un huequito en sus apretadas agendas siempre que lo he necesitado.

A María Castell y a Antoni Colomina, por su asesoramiento técnico en la limpieza del cuadro en el Taller de Conservación y Restauración de pintura de caballete del Instituto de Restauración del Patrimonio.

A mis padres y familiares por animarme y confiar en mi en todo momento.

Y por último, a mi compañero Roberto por su apoyo incondicional, su confianza y su enorme paciencia para soportar mis cambios de ánimo y mis preocupaciones.

Sin todos vosotros no hubiera sido posible este Trabajo Fin de Máster. Muchas gracias.

SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	11
3. RESTAURACIÓN VIRTUAL DE OBRAS DE ARTE: ESTADO DE LA CUESTIÓN	12
3.1 ASPECTOS TÉCNICOS	12
3.2 APLICACIONES	12
4. CASO PRÁCTICO	26
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN	26
4.2 PROCESO DE RESTAURACIÓN VIRTUAL	32
4.2.1 Captura inicial de la obra	32
4.2.3 Limpieza de la obra y medición de los puntos clave limpios	40
4.2.4 Barnizado de la obra y medición de los puntos clave barnizados.	42
4.2.5 Captura final.....	43
4.2.6 Tratamiento de los datos recogidos con el espectrofotómetro.	43
4.2.7 Corrección de fotografías.....	46
4.2.8 Limpieza virtual	48
4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
5. CONCLUSIONES	65
6. BIBLIOGRAFÍA	67
7. ÍNDICE DE IMÁGENES	70

1. INTRODUCCIÓN

Justificación del uso de las nuevas tecnologías junto a las tradicionales, en el campo de la Conservación y Restauración del Patrimonio:

Hoy en día se tiende, cada vez más, a realizar la mínima intervención sobre los bienes, culturales, haciendo hincapié en la Conservación Preventiva, favorecido la aplicación de las nuevas tecnologías sobre ellos.

Mediante estas herramientas obtenemos una reproducción digital, que podemos manipular tantas veces como queramos hasta conseguir un modelo virtual de la obra totalmente restaurada. De esta manera evitaremos los posibles deterioros que puedan aparecer si realizamos todas estas actuaciones directamente sobre la obra. Lo que nos ayudará a seleccionar los procedimientos y tratamientos más adecuados antes de acometer las diferentes intervenciones.

La tarea de efectuar la limpieza de una obra de arte es muy delicada por su irreversibilidad, este tipo de herramientas nos dan la posibilidad de averiguar cuál podría ser el resultado de la limpieza realizando una mínima intervención.

Un ejemplo donde la limpieza virtual sobre pintura de caballete hubiera sido una herramienta fundamental es en el caso de la restauración de “El Caballero de la Mano en el Pecho” que, aunque no se trata de una pieza de culto, está presente en la memoria colectiva con el aspecto que tenía previamente a la restauración.

En el año 1996, el Museo del Prado presentó el resultado de la restauración del famoso cuadro de El Greco “El caballero de la mano en el pecho”. Tras la restauración, el fondo negro del cuadro se transformó en un fondo gris, perdiendo el grado de misticismo que el tono oscuro le daba a la obra (fig.1). Además en el intento de eliminar el fondo negro borraron la firma del Greco que se podía ver en la parte derecha del cuadro (fig.2). Por este motivo se creó un gran revuelo llegando la polémica hasta el Congreso de los Diputados.

Esta polémica se podría haber minimizado si antes de ejecutar la limpieza física del cuadro se hubiera realizado una limpieza virtual del mismo. Con esta técnica hubieran obtenido una imagen previa de “El caballero con la mano en el pecho” ya limpio, que se podría haber evaluado o dado a conocer sin ocasionar daño alguno a la obra.



Fig. 1 Retrato de “El caballero con la mano en el pecho” antes y después de la restauración



Fig. 2 Detalle de la firma de El Greco antes y después de la restauración.

Otra aplicación podría ser la de poder efectuar reintegraciones de lagunas y pérdidas totalmente objetivas. Mientras que en la reintegración cromática tradicional el restaurador es el encargado de interpretar las formas y los colores, es decir, la capacidad de reproducir lo observado dependerá de la habilidad de cada restaurador. En este proceso la luz reflejada por

el objeto estimula las células receptoras de la retina, transmitiendo la información al cerebro a través de impulsos nerviosos. Sin embargo, en la reintegración virtual, los receptores visuales son sustituidos por una cámara digital que, con una debida corrección del color, es capaz de reproducir los colores originales de la obra (fig.3).



Fig. 3 Proceso de reconstrucción manual. izq. Proceso de reconstrucción digital. dcha

Una vez que tengamos la imagen con los colores reales, podemos completar las lagunas pictóricas mediante la Reconstrucción Estética Generada por Imagen Impresa Digital (REGIID)¹, basada en la reconstrucción de imágenes fotográficas, que se imprimen y se transfieren en la obra (fig.4).



Fig. 4 Reconstrucción generada por imagen impresa digital.

¹ VALCÁRCEL ANDRÉS, JC.; REGIDOR ROS, JL.; BLANCO-MORENO PEREZ, FJ. *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 Gandia*. Arché. (4-5), p 169-174.

A través del escaneado de los bienes tridimensionales obtenemos un modelo 3D de la obra, donde podemos realizar una anástilosis virtual o la reconstrucción de las partes perdidas, consiguiendo un modelo aproximado a su estado original permitiendo mostrar como podría haber sido la obra originalmente sin llegar a tener que intervenir sobre ella (fig.5). Esto es muy valioso porque, por un lado, conservamos el original y, por el otro, observamos la obra completa mejorando la comprensión de la misma.



Fig. 5 Restauración virtual de escultura

Si a la reconstrucción virtual del bien le añadimos más información como, por ejemplo, el entorno natural donde estaba ubicado, podemos favorecer a la comprensión del bien por parte del público visitante. Por ejemplo, las ruinas o los restos de un yacimiento arqueológico son difíciles de interpretar, sobretodo si no se tiene un conocimiento previo. La reconstrucción virtual del yacimiento y de su entorno puede explicar de forma fácil y natural como fue en su estado original (fig.6).



Fig. 6 Teatro romano de Mérida izq. y su reconstrucción virtual dcha.

La realidad virtual y la realidad aumentada suponen una revolución para la difusión del patrimonio, sobretodo en museos, centros de interpretación, yacimientos arqueológicos, etc. Esto hace que los bienes sean más visitados, sin que caigan en el olvido, mejorando su puesta en valor y a la larga su conservación.

También existen inconvenientes, puesto que la restauración virtual da vía libre a la imaginación, podemos caer en falsos históricos y dar como resultado soluciones irreales. Esto no depende de la herramienta sino de la capacidad humana para fijar límites deontológicos. En este caso sería necesario la creación de unas reglas o recomendaciones para regular el uso de estas herramientas sobre las obras de arte.

En definitiva, las nuevas tecnologías tienen grandes ventajas dentro del campo de la restauración de bienes culturales, como la posibilidad de ver los resultados de las intervenciones antes de realizarlas, la capacidad de reconstruir y recrear motivos o incluso de momentos cronológicos mediante un método respetuoso, reversible y modificable; o la incorporación de la realidad virtual y la realidad aumentada en museos para mejorar la comprensión de los bienes. Todo esto hace que las nuevas tecnologías sean de gran ayuda para los restauradores y conservadores, pero también existe el inconveniente de caer en falsos históricos si no se trabaja con rigor ni se tiene la información suficiente sobre el bien.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal de este Trabajo Final de Máster es el siguiente:

- Aplicar técnicas y procedimientos para la creación de modelos virtuales utilizando herramientas informáticas específicas que faciliten las operaciones de restauración de las obras de arte.

A partir de este objetivo principal obtenemos dos objetivos secundarios:

- Conocer las diferentes técnicas de restauración virtual empleadas hasta la actualidad.
- Valorar la utilidad, precisión y efectividad de las simulaciones virtuales.

En cuanto a la metodología a seguir para lograr estos objetivos la podemos resumir en los siguientes pasos:

- Primeramente se llevará a cabo una revisión bibliográfica de los casos reales y las diferentes técnicas de restauración virtual utilizadas hasta nuestros días. Para ello se realizará una primera búsqueda sobre temas relacionados con la restauración virtual y nuevas tecnologías de la información en Google Scholar, Reseach o Scirus., y una segunda, más específica consultando bases de datos como Dialnet o Riunet y revistas electrónicas como Arché, ICONO 14 y e-rph.

- Más tarde, llevaremos a cabo una limpieza virtual sobre pintura de caballete. Para ello, se seleccionarán varios puntos con los colores más representativos del cuadro, a fin de efectuar medidas colorimétricas, antes y después de la limpieza del barniz envejecido que presenta el cuadro. La diferencia existente entre los colores con el barniz envejecido y los colores limpios nos será de gran ayuda para llevar a cabo la limpieza virtual de la obra, que se realizará mediante el programa Adobe Photoshop®.

- Por último, cotejaremos los resultados de la restauración virtual concluida con el resultado de la limpieza física de la pintura.

3. RESTAURACIÓN VIRTUAL DE OBRAS DE ARTE: ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 ASPECTOS TÉCNICOS

Según Domenico Bennardi en su libro “*Restauro virtuale. Tra ideologia e metodologi*”², la restauración virtual es una serie de metodologías destinadas a restituir virtualmente los caracteres originales de una obra que de otro modo sería imposible. De esta manera, en la restauración virtual incluimos desde la simple digitalización de las obras al procesado y reconstrucción en 2D y 3D tanto de los modelos virtuales como de su entorno.

Bennardi clasifica las aplicaciones que pueden tener las nuevas tecnologías dentro del campo de la restauración de la siguiente forma:

1. Técnica de restauración.
2. Visualización de antemano de los resultados de la restauración.
3. Recuperación del original, para obras ya desaparecidas o muy deterioradas.
4. Difusión del patrimonio.

3.2 APLICACIONES

3.2.1 Técnica de restauración

El empleo de las nuevas tecnologías como técnica de restauración esta basado en el uso de las mismas como una herramienta más para intervenir el patrimonio. Esta primera aplicación podemos verla en los siguientes ejemplos:

- a) **Recuperación del patrimonio documental: restauración de documentos, fotografías, carteles y films.**

Gracias a programas como Photoshop® se pueden hacer reparaciones de fotos, carteles y documentos, corrigiendo imperfecciones como arrugas, manchas, abrasiones, etc.

En primer lugar se debe digitalizar la imagen, es decir pasar el archivo en papel a archivo digital, mediante el escaneado de la imagen.

² BERNARDI, D. y FURFERI, R. *Restauro virtuale. Tra ideologia e metodologia*, Florencia: Edifir, 2007.

Una vez digitalizada la imagen se realiza la corrección de la misma mediante varias herramientas de retoque que nos ofrece Adobe Photoshop®. Elegiremos cada herramienta según el tipo de elemento que necesitemos restaurar.

El resultado nos proporciona una copia exacta del original ya restaurado (fig.7).



Fig. 7 Comparación entre el estado original de la fotografía y el resultado tras la restauración.

b) Recuperación del color perdido en obras antiguas a partir de luces led: los lienzos murales de Rothko³.

Este sistema consiste en hacer pasar la luz a través de proyectores digitales para restaurar el color de las obras.

Un ejemplo de recuperación del color perdido mediante luces LED es la *Restauración de los lienzos Murales de la Capilla de Harvard de Mark Rothko*, donde el color rojo fue perdiendo su brillo original, debido al efecto de la luz.

Para restaurar las pinturas de Rothko se midieron los colores de varias diapositivas realizadas a los cuadros en 1964, fecha en la que fueron colgados, y los de otro lienzo, que nunca fue colgado y que conservaba los colores originales.

³ WALSH, C. *A light touch for Rothko murals*, Ed. *Harvard Gazette*. 2014. [Consulta: 2017-12-07]. Disponible en: <https://news.harvard.edu/gazette/story/2014/05/a-light-touch-for-rothko-murals/>

Una vez tomados estos datos, fueron comparados con el color actual de las pinturas, para desarrollar unas imágenes denominadas de “compensación”. Estas imágenes están calibradas pixel a pixel, por lo que una vez que se proyectan sobre los cuadros, estos vuelven a recuperar los colores perdidos (fig.8 y 9).

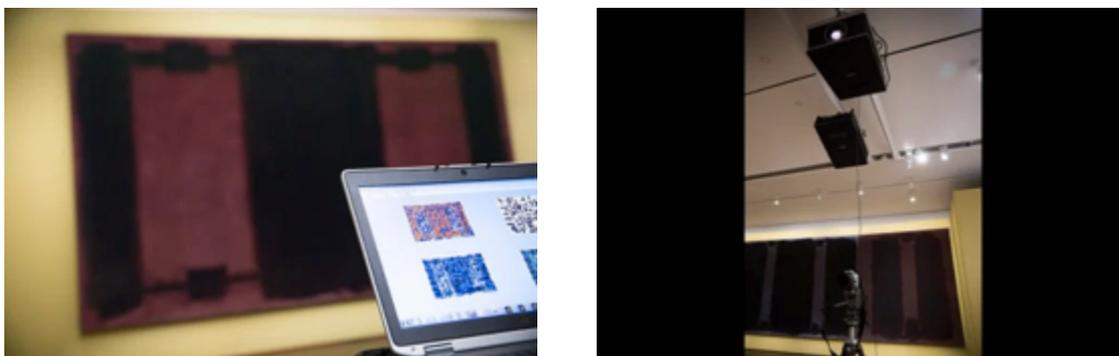


Fig. 8 y 9. Programa de ordenador y proyector que iluminan los murales de Rothko

3.2.2 Visualización de antemano de los resultados de la restauración

Una de las ventajas de la restauración virtual es la de poder ver los resultados de antemano mediante la manipulación de las fotografías realizadas a las obras.

Un ejemplo de este tipo de restauración es el caso del *Rejuvenecimiento de la paleta de Seurat*⁴, en este artículo Roy S. Berns tiene por objetivo obtener una imagen del aspecto original de “Domingo en La Grande Jatte” a partir de mediciones colorimétricas en la obra.

El cuadro de “*La Grande Jatte*” había oscurecido y amarilleado debido al aceite que Seurat utilizó como aglutinante. Además el pigmento amarillo de zinc, presente en varios puntos del cuadro se alteró de tal forma que había variado los tonos amarillos y naranjas transformándolos en ocre, marrones y verdes oliva. Como vemos, estos deterioros no podían ser subsanados mediante las técnicas de limpieza tradicionales, por esta razón Berns trató de recuperar los colores perdidos utilizando las nuevas tecnologías.

En primer lugar midió la reflectancia espectral de cincuenta puntos de la pintura mediante un espectrofotómetro. Estos puntos fueron clasificados en azules, verdes, naranjas, púrpuras, rosas, rojos, blancos y amarillos.

⁴ ROY S. BERNS. *Rejuvenating Seurat's Palette Using Color and Imaging Science: A Simulation*. Color Research & Application. Volumen 31, Edición 4, Págs. 278–293

Más tarde, para averiguar el grado de envejecimiento de la pintura, Berns tomó la medida espectral de un punto de color blanco (vela del barco) donde Seurat utilizó blanco de plomo, y la comparó con la de una probeta reciente de blanco de plomo aglutinado con aceite de linaza. La diferencia entre las dos medidas las denominó "Espectro de envejecimiento", que restó a las medidas espectrales de todos los colores para averiguar como serian en su origen y mediante el programa Adobe Photoshop® y los datos que obtuvo, modificó una fotografía de la obra dando como resultado una imagen con los colores más intensos y luminosos (fig.10 y 11).

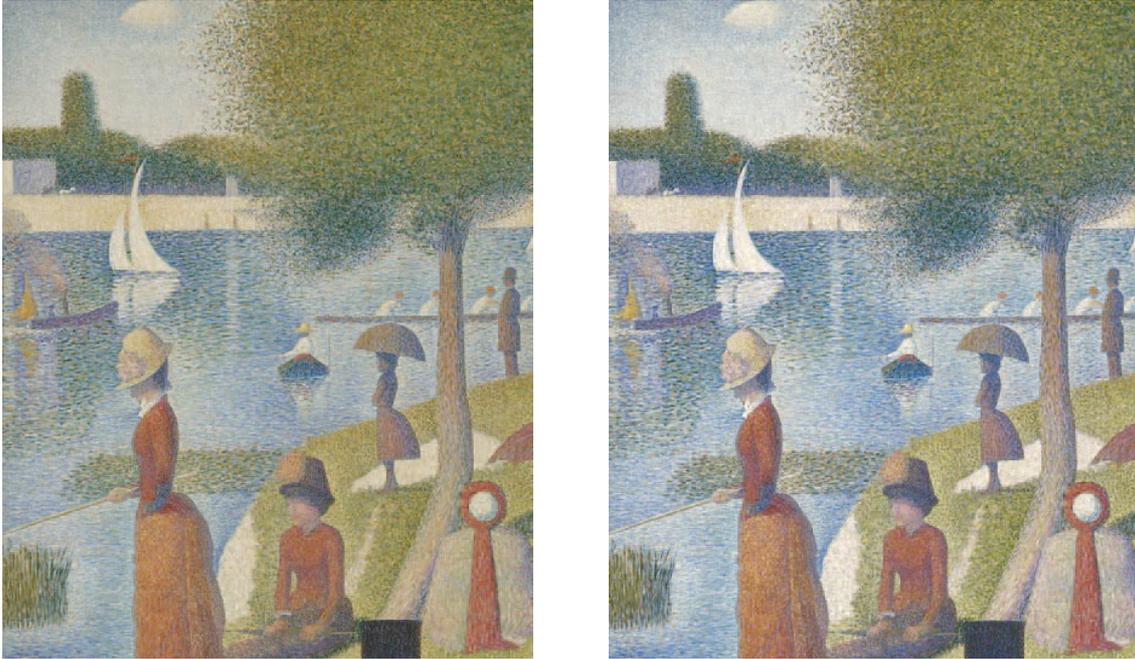


Fig. 10 y 11 Detalle de La Grande Jatte antes del rejuvenecimiento digital (izq.) y después (dcha.).

Si comparamos la pintura en su estado actual y la fotografía con la limpieza virtual observamos que ha aumentado la luminosidad y la intensidad de los colores. Pero el autor no ha tenido en cuenta que el amarilleamiento y oscurecimiento no es igual para todos los colores. Él ha dado por supuesto que el cuadro ha oscurecido de igual manera en todas sus zonas.

Para realizar el caso práctico que proponemos se ha tomado como referencia el artículo de Roy.S. Berns, pero a diferencia de Berns, nosotros tomaremos medidas colorimétricas de los punto clave del cuadro antes y después de la limpieza. De esta manera averiguaremos cual es la diferencia de color exacta de cada uno de los colores del cuadro.

Otro ejemplo más cercano, es el trabajo realizado en la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia por un equipo interdisciplinar de la Universitat Politècnica de València⁵. Su propósito es el de obtener una imagen previa a la restauración de las pinturas murales que decoran el techo de la iglesia, es decir, averiguar de antemano cual sería el aspecto de las pinturas ya restauradas.

En 1936, durante la Guerra Civil, la parroquia de los Santos Juanes fue incendiada produciéndose gravísimos desperfectos en las pinturas que decoraban el interior del templo, los cuales fueron agravados tras la actuación de los bomberos, puesto que el agua en contacto con la pintura caliente originó ampollas haciendo que se desprendiera del muro. Para reconstruir estas zonas perdidas se utilizó una antigua fotografía en blanco y negro (fig.12), que mediante un programa de georreferenciación se enderezó y se puso a escala para poder encajarla en la bóveda de la iglesia. Básicamente, hicieron coincidir unos puntos tomados en la bóveda con sus correspondientes en la fotografía (fig.13 y 14).

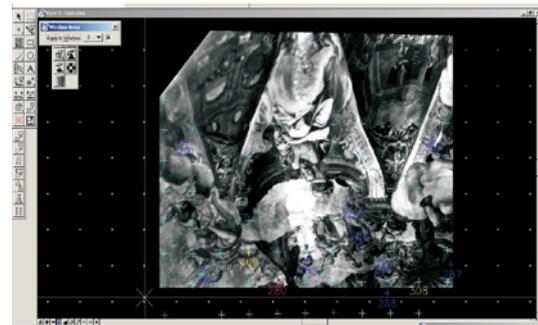
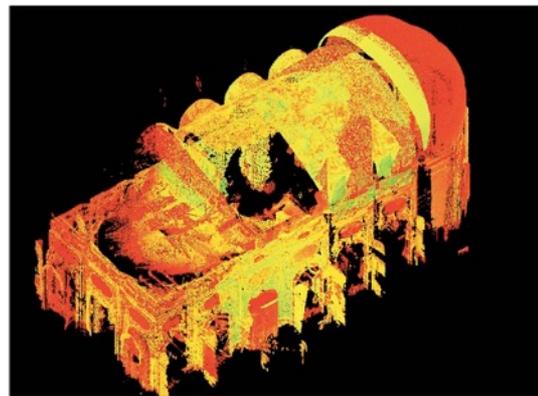
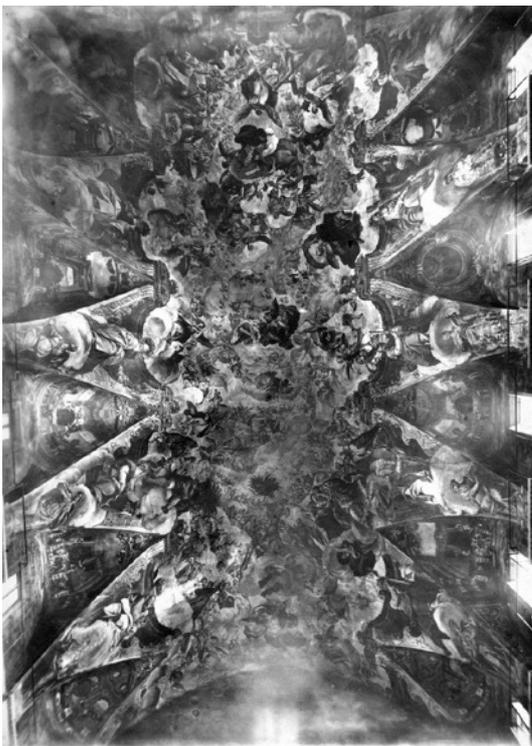


Fig. 12. Antigua fotografía de la bóveda. Fig.13. Escáner del interior de la Iglesia. Fig.14. Software de georreferencia.

⁵ Convenio entre la Universidad Politècnica de Valencia y la Empresa Aguas de Valencia, S.A. para la continuación de los trabajos de restauración de las pinturas murales de Palomino en la bóveda de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia. Desde:01/08/2008 hasta:01/08/2010

Después colorearon digitalmente la fotografía en blanco y negro mediante el programa Photoshop®. Para ello superpusieron la fotografía antigua sobre las fotografías del estado actual de la cúpula, y tomando como referencia los colores de la pintura original, se crearon capas cromáticas transparentes a modo de veladuras de color hasta conseguir entonar los grises. De esta forma consiguieron una fotografía con el posible aspecto de la cúpula después de la restauración (fig.15 y 16) .



Fig. 15 y 16 Aplicación de color a la imagen en blanco y negro.

A raíz de esta investigación Clara Portilla Romero⁶ y Marta Torregrosa Verdejo⁷ realizaron sus Trabajos Fin de Máster donde trataron los siguientes temas:

- *Mapping* como alternativa para la reintegración pictórica.
- Transferencias Ink-jet. Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de Valencia.

En el primero, Portilla estudia la técnica del *mapping*⁸ como sistema de reintegración pictórica del ábside de la capilla de la parroquia de los Santos Juanes.

⁶ PORTILLA ROMERO, C. *Mapping como alternativa a la reintegración. El Ábside de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia*, Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016.

⁷ TORREGROSA VERDEJO, M. *Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de València*. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016.

⁸ Proyección de imágenes o animaciones sobre superficies reales para conseguir efectos de movimiento o 3D sobre dicha superficie.

Para realizar el *mapping* digitalizaron una imagen en blanco y negro hallada en un libro de las pinturas del ábside. Después le devolvieron los colores mediante el programa Adobe Photoshop®, ayudándose de las fotografías tomadas de las zonas ya restauradas del ábside (fig.17) .

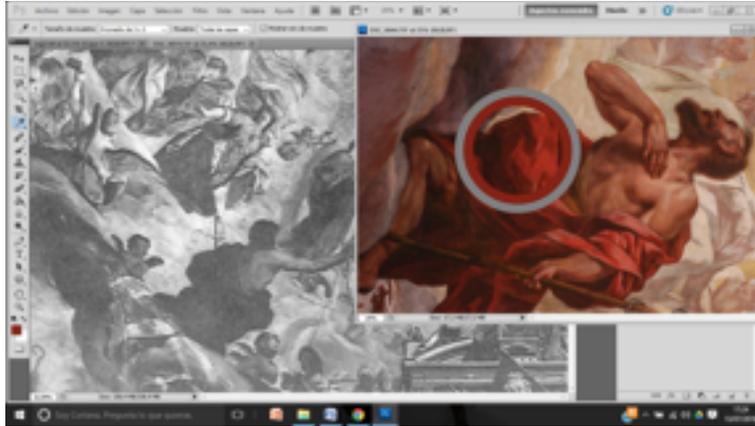


Fig. 17 Coloreado de la imagen de referencia.

Una vez que se obtuvo la imagen a color, Portilla la proyectó sobre un cuarto de esfera de poliestireno expandido que simulaba el ábside de la Iglesia. Para ello utilizó el programa MadMapper® que permite adaptar las imágenes a la estructura en tiempo real (fig.18).

En primer lugar, se escala la imagen al tamaño de la maqueta y después se va ajustando a la forma con diferentes máscaras poligonales. De esta forma consiguió establecer una aproximación de la fotografía sobre el soporte cóncavo del ábside .

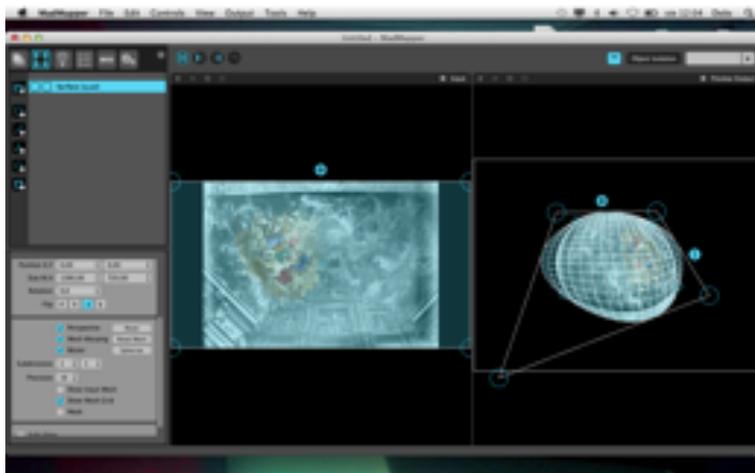


Fig. 18 Ajuste de la imagen a la estructura

Torregrosa va más allá y tiene como objetivo valorar los sistemas de transferencia REGIID como método de reintegración cromática de lagunas en pintura mural. Para ello, seleccionó la

pilastra número 3 de la Iglesia de San Nicolás en Valencia, puesto que poseía una laguna de grandes dimensiones en el centro de su cara frontal.

Para realizar la reconstrucción cromática, en primer lugar se tomaron fotografías de otra pilastra donde la decoración estaba prácticamente completa. Gracias a que todas las pilastras presentaban el mismo motivo decorativo, que consiste en tres querubines dispuestos sobre una guirnalda vegetal que recorre toda la superficie de la pilastra entrelazándose formando una enredadera, se consiguió una imagen de referencia, que se manipuló digitalmente para adaptarla a la laguna. Tras el tratamiento digital se obtuvo una imagen de la reintegración a modo mimético, que a distancia no es discernible pero si nos acercamos podemos observar la trama de la impresión (fig.19).

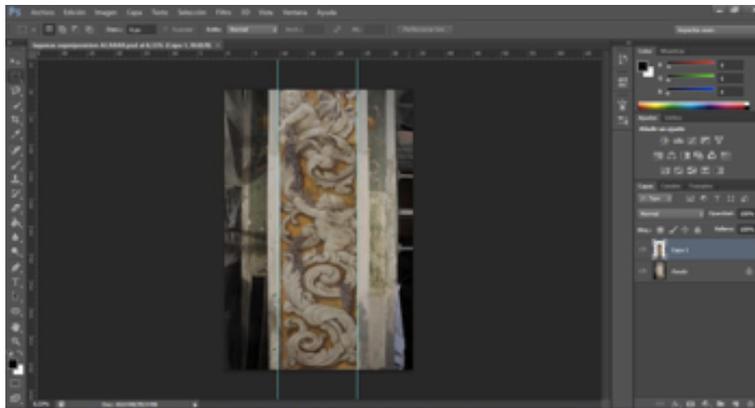


Fig. 19 Tratamiento de la imagen en el programa Adobe Photoshop

Después se pasó a la impresión de la imagen sobre un soporte temporal, en este caso PapelGel⁹. A continuación, previamente a colocar la impresión sobre la pared, se sustituyó el estuco anterior por un mortero a base de cal, cuarcita y polvo de mármol procurando imitar la textura anterior. Más tarde, se presentó la imagen a transmitir sobre la laguna, se despegó el film protector de la imagen y se aplicó agua desionizada con una esponja para realizar la transferencia y eliminar el soporte temporal (fig.20). Para que la tinta se adaptara a la rugosidad del mortero se hizo presión con unos rodillos duros.

⁹ Material co-polímero laminar, inocuo, transparente y elástico, cuya composición sólido-gel permite la transferencia de imágenes fotografías de gran calidad en todo tipo de superficies y volúmenes, independientemente de la textura y porosidad que presenten.

Para completar la restauración, se reintegraron de forma manual las zonas blancas entre la pintura original y la imagen digital (fig.21).



Fig. 20 Proceso de adhesión de la imagen al soporte. Fig.21 Reintegración manual de la zona blanca intermedia.

Por todo lo comentado anteriormente se puede decir que las nuevas tecnologías proporcionan una gran ventaja sobre los métodos tradicionales, porque no solamente proporcionan una imagen previa de los resultados de la restauración, si no que también podemos utilizar esta imagen para realizar reintegraciones de pérdidas de película pictórica fieles al original y sin caer en una falsificación, ya que estos métodos son discernibles, pero además totalmente reversibles y muy respetuosos, puesto que apenas se manipula la obra.

3.2.3 Recuperación del original, para obras ya desaparecidas o muy deterioradas: La simulación digital

Mediante la simulación digital podemos reconstruir por ordenador la forma original que tenían los bienes culturales, bien porque la restauración no sea sencilla de realizar o porque la obra corra el peligro de deteriorarse aun más. Este método es muy beneficioso porque nos permite interpretar y dar a conocer el patrimonio, sobretodo el arqueológico y arquitectónico.

La reconstrucción digital debe estar basada siempre en datos contrastados porque pueden resultar soluciones imaginativas e irreales.

El primer paso es obtener la mayor información posible sobre la obra a intervenir. Cuanto mayor sea la documentación recogida, más fácil, fiable y fidedigno será el modelo a realizar.

Después pasaremos al modelado de la obra, para lo que existen tres métodos diferentes:

- Modelado manual en el que no se precisa del modelo original.
- Semiautomático donde se necesitan fotografías del original.
- Escaneado 3D de la obra.

Una vez obtenido el modelo se aplica una textura para darle un aspecto más real, estas texturas pueden ser genéricas o fotografías del original.

Por último, una vez que se ha reconstruido digitalmente la obra, se crea un *entorno inmersivo* donde se intenta que el espectador se sienta dentro del modelo.

Un ejemplo lo encontramos en la intervención de *San Andrés de Mahamud (Burgos)*¹⁰. El propósito de este trabajo es el de reconstruir el edificio de manera virtual, tanto de su exterior como de su interior. Se trata de una capilla funeraria situada a las afueras del pueblo que actualmente se encuentra en ruinas. El edificio consistía en una planta en forma de trapecio, más ancho en la cabecera que en los pies. El interior estaba decorado con pinturas murales: la cabecera presentaba una decoración a modo de telas con motivos heráldicos de Castilla y León y en las paredes Norte y Sur la decoración era de estilo oriental con motivos a base de ruedas.

¹⁰ SAN JOSÉ ALONSO, J. *Restauración real, restauración virtual. Los templos de Santa María de Valbuena, en San Bernardo y de San Andrés en Mahamud*. Biblioteca: estudio e investigación, 2010, nº 25, pp.187-204

En primer lugar se modeló el contenedor arquitectónico, así como los paramentos interiores, después se completo la simulación virtual añadiendo la decoración, el mobiliario y los sepulcros (fig.22 y 23).



Fig. 22 y 23 Estado actual de la capilla y su recreación virtual.

1. Difusión del patrimonio: La realidad aumentada

En este caso la restauración virtual proporciona al público la máxima información sobre la obra y de esta manera colabora con su puesta en valor.

La Realidad Aumentada, no consiste en generar entornos virtuales como en la realidad virtual, sino que inserta objetos virtuales en un espacio real. Por ejemplo, permite insertar reconstrucciones virtuales sobre los restos arqueológicos conservados sin necesidad de actuar directamente sobre ellos.

Principalmente hay tres técnicas para ver la realidad aumentada:

- *Display* de mano:

Un teléfono móvil, *Tablet* o similar nos muestra la imagen real captada por la cámara del dispositivo junto con la información digital.

- Puntos de observación:

Proyectores de video o pantallas donde se reproduce la información digital.

- Gafas de realidad aumentada o HMDs:

El usuario puede observar tanto las imágenes reales como los objetos virtuales sobre las mismas.

La Universitat Politècnica de València ha realizado varios ensayos relacionados con la Realidad Aumentada entre los que podemos destacar los siguientes:

a) **CatedrAR**¹¹

El objetivo de este ensayo es poder observar la bóveda barroca y el antiguo retablo de plata ya desaparecidos de la Catedral de Valencia, con la condición de no alterar el entorno físico, es decir, sin colocar ningún tipo de dispositivo.

Entre 1489 y 1506 Piero da Ponce, Augustine Nicos y los plateros valencianos Francisco Cetina y Bernat J. Cetina realizaron el retablo de plata, Representaba los siete gozos de la Virgen. En su parte central se encontraba la imagen de la Asunción y en la parte superior la coronación de la virgen. Por último, todo el conjunto se cerraba con dos puertas monumentales decoradas por las dos caras con motivos marianos (fig.24). Por desgracia en el siglo XIX, durante la guerra de la Independencia, el retablo fue fundido para convertirlo en moneda y poder pagar a las tropas extranjeras que ayudaban en la lucha contra Napoleón.



Fig. 24 Retablo de plata desaparecido.

Durante la restauración de la Catedral en 2004 descubrieron que debajo de la bóveda había otra más antigua de estilo gótico con unos frescos renacentistas de los maestros Italianos Franco Pagano y Paolo de San Leocadio, este es el motivo por el que decidieron desmantelarla.

¹¹ PORTALÉS RICART, C. "Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte" arte. [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2008, DOI: 10.4995/Thesis/10251/3402. pp. 359-375

Pero antes, se escaneó toda la superficie de la bóveda con un láser escáner terrestre para obtener los modelos tridimensionales de la misma (fig.25). En cuanto al antiguo retablo de plata desaparecido se tomaron como referencia unos dibujos del siglo XVIII que se conservaban en los archivos de la Catedral.



Fig. 25 Modelo 3D de la bóveda barroca obtenido con un láser escáner terrestre.

De esta manera el usuario puede observar a través de unas gafas de Realidad Aumentada la antigua bóveda barroca, actualmente desmantelada, y el retablo renacentista de plata desaparecido en la Guerra de la Independencia (fig.26 y 27).

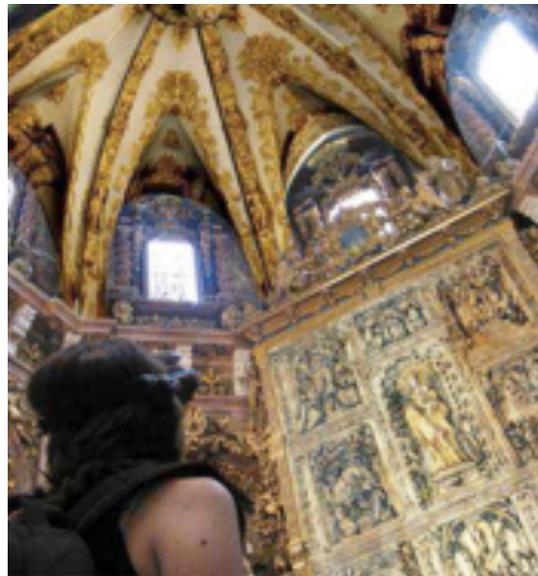


Fig. 26. Imagen real de la capilla mayor en la actualidad. Fig. 27 Imagen aumentada mostrada en las gafas de Realidad Aumentada

b) Realidad aumentada para la interpretación del patrimonio monumental de la Lonja de Valencia¹².

El siguiente proyecto de investigación se realizó en el edificio gótico de la Lonja de los Mercaderes en Valencia. Su intención es acercar a los usuarios varios elementos arquitectónicos de la Lonja que, por cuestiones como la escasa iluminación, lejanía a los detalles o la imposibilidad de desplazamiento, son más difíciles de ver a simple vista.

Los ocho elementos a observar fueron los siguientes: La columna helicoidal con la basa y el módulo del fuste, la escalera de caracol, el arranque de los nervios de la bóveda, el artesanado de la sala del tribunal, la tracería del ventanal, la clave de una de las bóvedas del salón columnario, el motivo del pavimento trompe l'oeil y los detalles de la puerta superior del Consulado del Mar.

Para poder interactuar con los modelos el usuario debe mostrar unas tarjetas a la webcam, donde es posible visualizar los elementos arquitectónicos en pantalla mostrando además información adicional de los mismos (fig.28, 29 y 30).



Fig. 28, 29 y 30 Marca de la tracería del ventanal y manejo de la aplicación por el usuario

¹² PUYUELO CAZORLA, M. et al. *De la representación a la experiencia. Realidad Aumentada para la interpretación del patrimonio monumental de la Lonja de Valencia*. EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 2015, nº. 26.pp. 180-189,

4. CASO PRÁCTICO

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

Ficha técnica de la obra

Título:

Un Garrochista (fig.31).

Tipología:

Pintura sobre lienzo.

Localización:

Provincia: Valencia.

Municipio: Valencia.

Inmueble: Dpto. de Conservación y
Restauración de Bienes Culturales.

Universitat Politècnica de València, Camino
de Vera, s/n, Edificio 3N, 46022 Valencia



Fig. 31 Vista general del cuadro "Un Garrochista"

Identificación iconográfica:

Retrato ecuestre de un joven vestido al estilo goyesco que porta en su mano derecha una garrocha.

Identificación física:

Materiales y técnica: Óleo sobre lienzo.

Dimensiones: 71 x 56 cm.

Inscripciones, marcas y firmas: Por el reverso, sobre el bastidor se ha encontrado un papel adherido con el número 2457 y escrito con lápiz el número 94.

Datos históricos- artísticos:

Autor: Desconocido

Estilo: Copia de "Un Garrochista" de Francisco de Goya

Estado de conservación preliminar:

Bueno, presenta una capa de barniz envejecido homogénea sobre toda la superficie de la pintura.

Estado de conservación

a) Soporte:

El soporte de la obra está compuesto por un tejido tafetán de lino. Su estado de conservación es bueno, aunque presenta una ligera acumulación de suciedad y polvo por el reverso (fig.32).



Fig. 32 Reverso del cuadro.

b) Bastidor:

El bastidor se compone de cuatro listones de madera machihembrados y sin biselar en las aristas internas (fig.33), presenta varios orificios de insectos xilófagos diseminados por toda la superficie (fig.34).

En el centro del listón superior se han encontrado varios agujeros producidos por la colocación de un sistema de anclaje para poder colgar el cuadro (fig.35) .



Fig. 33 Vista general de bastidor, Fig. 34. Detalle de la unión entre listones y orificios de insectos xilófagos, Fig.35.Detalle de agujeros del anclaje.

En este mismo listón, a la derecha de los orificios del sistema de anclaje, se ha encontrado un papel adherido con el número 2457 impreso en él. También se ha hallado el número 94 escrito a lápiz cerca de la esquina derecha del listón inferior (fig.36 y 37).



Fig. 36 y 37 Numeración encontrada en los listones del bastidor

Por último, se ha observado que en el borde exterior del cuadro se han claveteado cuatro tablillas cortadas a bisel a modo de protección y mayor sujeción del lienzo (fig.38 y 39) .



Fig. 38 y 39 Detalle de las tablillas de protección de los bordes del cuadro.

c) Capa Pictórica:

La capa pictórica se encuentra en buen estado de conservación (fig.40). Sobre ella se ha encontrado adherido un resto de papel de color marrón (fig.41). También se ha hallado una línea de pérdida de película pictórica en la parte superior izquierda del cuadro producida por un roce o arañazo (fig.42). Por último se han encontrado marcas en el perímetro de la obra, producidas por las caras internas del bastidor que no han sido rebajadas (fig.43).



Fig.40 Vista general del cuadro. Fig.41 Papel de color marrón. Fig.42 Línea de pérdida de película pictórica.

Fig.43 Detalle de marca perimetral

Tras un examen bajo luz ultravioleta e infrarroja se aprecia un repinte de forma rectangular en la parte inferior derecha del cuadro (fig.44 y 45).



Fig. 44 Fotografía con luz infrarroja. Fig. 45 Fotografía con luz ultravioleta, podemos apreciar un repinte en la parte inferior derecha.

d) Capa de protección:

La capa de barniz que cubre el lienzo presenta un aspecto amarillento provocado por la oxidación de los materiales, sobre ella se han encontrado depósitos de polvo y suciedad generalizados, esto hace que no se pueda realizar un buena lectura del cuadro (fig.46).



Fig. 46 Detalle del barniz amarillento.

4.2 PROCESO DE RESTAURACIÓN VIRTUAL

Este trabajo se ha dividido en ocho fases:

1. Captura inicial de la obra.
2. Medición cromática de los puntos clave del cuadro en su estado inicial.
3. Eliminación del barniz envejecido de la pintura y segunda toma de datos colorimétricos de los puntos clave ahora ya limpios.
4. Barnizado de la obra y toma colorimétrica de los puntos clave barnizados.
5. Captura final.
6. Tratamiento de los datos recogidos con el espectrofotómetro
7. Corrección de las fotografías.
8. Eliminación virtual del barniz envejecido.

4.2.1 Captura inicial de la obra

a) Instrumentación

En la sesión fotográfica se utilizó una cámara Nikon D3X con un objetivo MicroNikkor 60 mm. Para iluminar se utilizaron dos flashes de estudio Balcar® Jazz 350. Se realizaron varias fotografías generales de la obra en dos formatos NEF y JPEG, controlando con fotómetro de luz incidente que el reparto de la luz fuera uniforme. Los parámetros empleados son los siguientes:

f/14
Tiempo de exposición: 1/250 s
ISO 100
ISO 100
Tiempo de exposición: 1/250 s
Longitud focal: 60 mm
Espacio de color: RGB
Balance de blancos personalizado

b) Procedimiento

Antes de hacer las fotografías de la obra debemos medir la intensidad de la luz sobre varios puntos del cuadro, modificándola de tal forma que obtengamos en todos los puntos el mismo resultado. Estas medidas indican cual es la apertura de diafragma que debemos utilizar con respecto a la velocidad fijada previamente.

La fotografía general del cuadro va acompañada de una carta de color Kodak q13 *Color Separation Guide*, que nos servirá como guía para poder corregir los colores de la foto, con el fin de que se asemejen lo máximo posible a los colores reales del cuadro (fig.47).



Fig. 47 Fotografiado del cuadro con carta de color.

4.2.2 Medición cromática de los puntos clave del cuadro en su estado inicial.

Antes de exponer el proceso de medición de los puntos seleccionados explicaremos brevemente en qué se basa la colorimetría:

Fundamentos de la colorimetría

La colorimetría es la ciencia que se ocupa del estudio de la medida del color, determinándolo con valores numéricos, de manera que podamos transmitir estos valores con precisión.

La colorimetría triestímulo se basa en la teoría tricromática, que establece que el ojo posee receptores para los tres colores primarios (rojo, verde y azul), y a partir de la mezcla de estos tres colores primarios podemos obtener los demás colores. Además la forma en que nosotros percibimos los colores también dependerá de tres atributos básicos: Tono, Saturación y Luminosidad.

El *Tono* es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas de luz. Así, el tono representa el color percibido por el observador; cuando llamamos a un objeto rojo, naranja o amarillo estamos especificando su tono.

La *Saturación* esta relacionada con la pureza del color, es decir, la cantidad de color gris que se mezcla con él. Se parte del color gris hasta llegar al color totalmente saturado (fig.48).



Fig. 48 Diferencia de saturación del color rojo

La *Luminosidad* es la intensidad de luz percibida en un objeto, es decir, cómo de oscuro o de claro parece un color. El intervalo de la luminosidad está comprendido entre el blanco y el negro pasando por toda la gama de grises (fig.49).



Fig. 49 Diferencia de luminosidad

La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) propuso varios modelos para medir el color, en los que, por medio de tres coordenadas, podemos definir el color dentro de un espacio cromático.

Modelo CIEYxy: Creado en 1931 por la “Commission Internationale de l’Eclairage”, basado en tres colores primarios, rojo, verde y azul que representan tres luces teóricas y que al mezclarse reproducen cualquiera de los colores que el ojo puede ver. Los colores se representan en un espacio de color donde “Y” es la luminosidad y “x” e “y” son las coordenadas cromáticas (fig.50).

Pero aunque el espacio de color CIEYxy define completamente el estímulo espectral del ojo humano, no es realmente uniforme, puesto que la distancia de separación de los colores no es proporcional a la diferencia de los estímulos recibidos (fig.51).

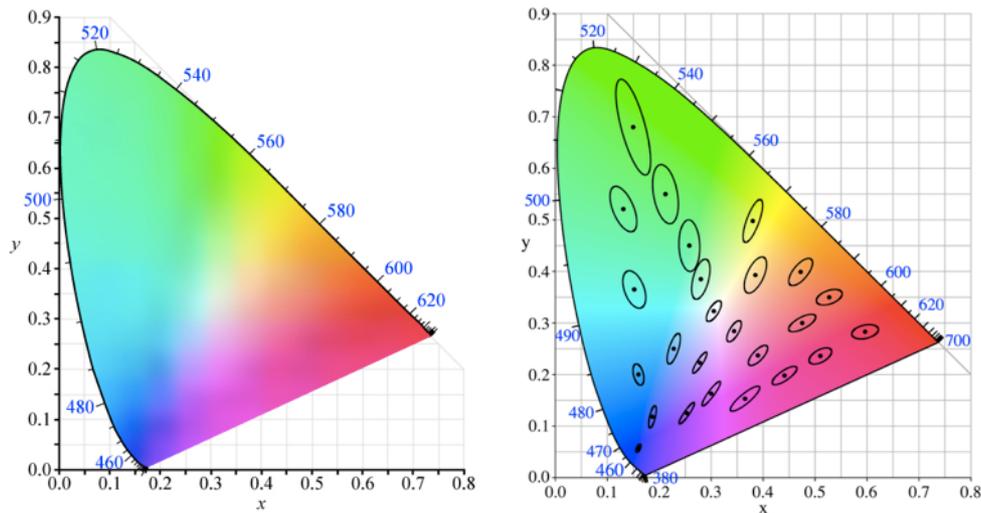


Fig.50 Diagrama cromático x,y. Fig.51 Diferencias en distancia espectral.

Modelo CIELab: Perfeccionamiento del sistema anterior publicado en 1976. Se trata de un sistema de coordenadas cartesiano definido por tres variables colorimétricas L^* , a^* , b^* , las cuales se definen por las siguientes ecuaciones:

$$L^* = 116 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 0,1379 \right)$$

$$a^* = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right)$$

La coordenada L^* es la denominada luminosidad y tiene valores entre 0 y 100.

Las coordenadas a^* y b^* forman un plano perpendicular a la luminosidad.

La coordenada a^* va del rojo (si $a^* > 0$) al verde (si $a^* < 0$).

La coordenada b^* va del amarillo (si $b^* > 0$) al azul (si $b^* < 0$) (fig.52).

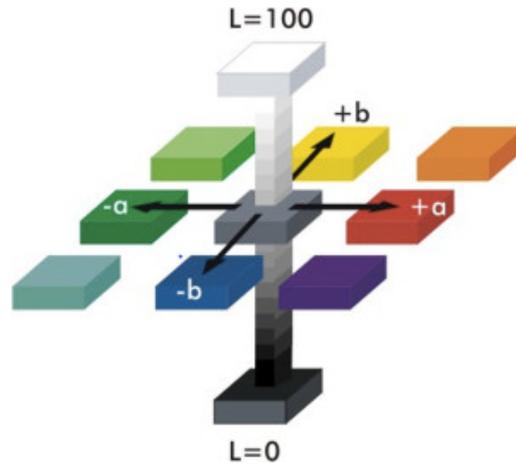


Fig. 52 Esquema de las coordenadas L^* , a^* , b

Modelo CIE $L^*C^*h^*$: Modelo similar al CIE $L^*a^*b^*$, los dos poseen el mismo diagrama de espacio de color pero el modelo $L^*C^*h^*$ utiliza coordenadas cilíndricas, mientras que el modelo $L^* a^* b^*$ utiliza coordenadas cartesianas. En este modelo L^* indica la Luminosidad, C^* representa el croma y h^* es el ángulo del tono (fig.53).

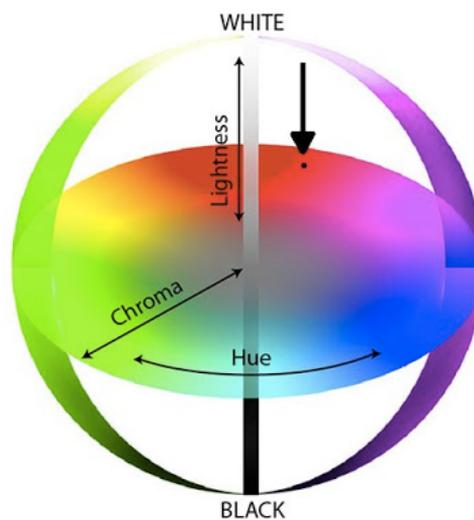


Fig. 53 Esquema de las coordenadas L^* , C^* , h^* .

Como ya se ha comentado anteriormente, gracias a la colorimetría podemos convertir los colores en valores numéricos, posibilitando su operación, almacenaje y transmisión de la información referente al color. Dentro del campo de la Restauración y Conservación de pintura, la colorimetría permite:

- Conocer el color exacto de las obras de arte en el momento de su medida.
- Hacer un seguimiento objetivo de los cambios cromáticos de las obras producidos, bien por su propio envejecimiento, o bien por las actuaciones en el proceso de conservación-restauración. Este control permite advertir los cambios de color mucho antes de ser percibidos por el ojo humano, posibilitando la intervención antes de que el cambio sea visible.
- Realizar ensayos en el laboratorio sobre nuevos materiales para la restauración en cuanto a la variación de color tras su aplicación, o a su resistencia cromática con el paso del tiempo.

Medición colorimétrica

- Instrumentación

Para la medición colorimétrica de los puntos de color previa a la limpieza, se ha utilizado un espectrofotómetro de contacto CM-2600d de la marca Minolta®, que tiene los siguientes parámetros:

Área de medición: 0,6 cm²

Observador patrón: 10°

Fuente de luz: D65

- Procedimiento

En primer lugar se seleccionaron dieciocho puntos en las áreas con colores más representativos de la obra. Estos puntos están clasificados en azules, marrones, grises, carnaciones, rojos, rosa, blanco y negro (fig.54).

La selección de los puntos ha seguido los siguientes criterios:

- Elegir los puntos más cromáticos y homogéneos.
- Escoger aquellos puntos que se sitúen en zonas uniformes y sin defectos en el estrato pictórico.

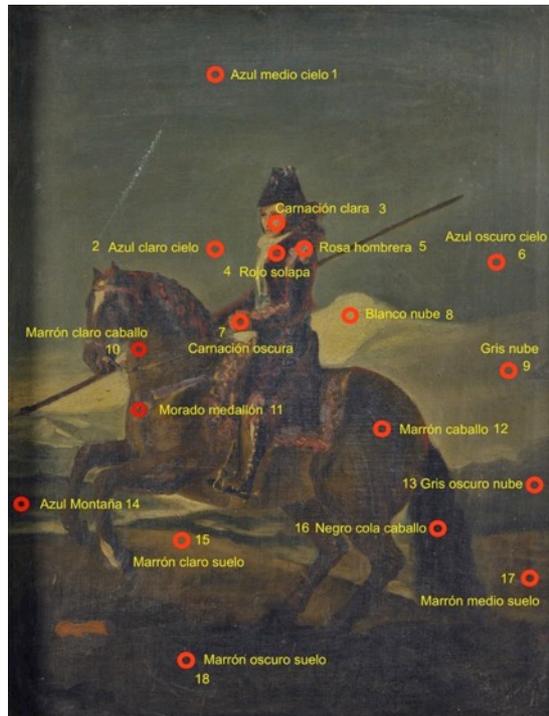


Fig.54 Puntos de color muestra del cuadro.

Sobre el cuadro se colocaron tres acetatos, donde se perfilaron las líneas más características de la obra, con el fin de que nos sirvieran de guía para posteriores mediciones. Después se marcaron los dieciocho puntos a medir, dibujando círculos con un diámetro semejante al área de medida del espectrofotómetro. Todos los puntos fueron numerados, para luego saber a que color corresponden los resultados del espectrofotómetro. Por último, se recortaron todos los círculos del acetato, para medir el color directamente sobre la obra (fig.55 y 56).



Fig. 55 Acetato con líneas más características de la obra. Fig.56 Medida de los puntos de color con espectrofotómetro.

Se han realizado tres medidas de cada punto, lo que nos asegura una medición más fiable, obteniendo los valores espectrales, los valores CIE $L^*a^*b^*$ y los valores L^*,C^*,h^* de cada uno de ellos. Estos datos fueron volcados al ordenador mediante el *software* Spectra Magic™ NX para después, ser analizados ayudándonos del programa Microsoft® Excel .

4.2.3 Limpieza de la obra y medición de los puntos clave limpios

Para llevar a cabo la limpieza virtual de la pintura solamente es preciso limpiar las zonas donde están ubicados los puntos medidos, es decir, realizar un pequeño testigo de limpieza en cada punto seleccionado, pero en nuestro caso se ha preferido limpiar la pintura al completo para poder comparar los resultados de la limpieza física con los de la limpieza virtual.

Fases de la limpieza de la pintura:

a) **Limpieza superficial:** Eliminación del material de depósito de la superficie mediante hisopos humedecidos en disolventes acuosos sin alterar la capa de barniz. Para seleccionar el tipo de disolvente a utilizar se ha realizado un test de solubilidad con disolventes acuosos¹³ (fig.57 y 58). Tras la elaboración del test de solubilidad se ha optado por una solución tampón pH 5.5 con 0,5 gramos de citrato de triamonio (TAC) (fig.59). También fue eliminado el resto de papel que se hallaba adherido sobre la película pictórica mediante un hisopo humedecido en agua destilada.

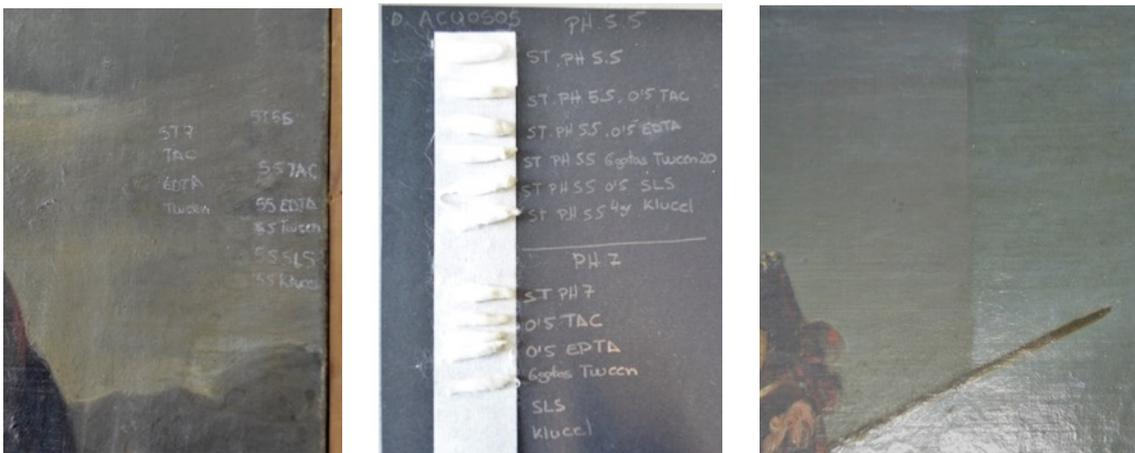


Fig. 57 y 58 Test de solubilidad con disolventes acuosos. Fig. 59 Testigo de limpieza.

¹³ Método para la elección del disolvente adecuado para limpieza de superficies pictóricas. Comprende un total de dieciocho mezclas que se corresponden con tres valores de pH diferentes y la inclusión de un espesante, dos tipos de aditivos quelantes y otros dos tensoactivos.

b) **Eliminación del barniz envejecido:** Eliminación de la capa de barniz mediante hisopos humedecidos en disolventes orgánicos sin dañar la película pictórica. Para seleccionar el disolvente a utilizar se ha realizado el test de Cremonesi¹⁴, con el que se ha observado que la mezcla idónea es la de Ligroina y Acetona al 50% (fig.60) .

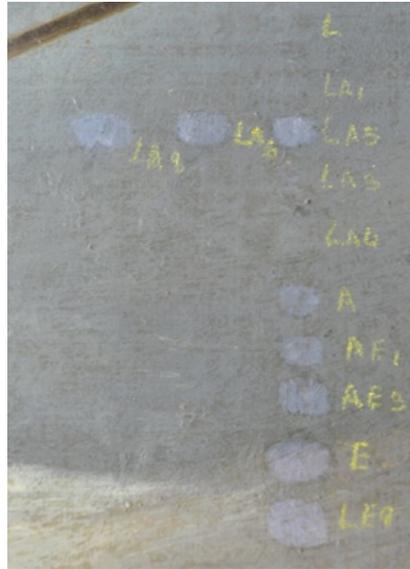


Fig. 60 Test de Cremonesi.

Después de la limpieza del barniz todavía quedaban restos de un barniz más antiguo entre los surcos de la pintura. Para su eliminación se ha utilizado gel de Carbopol® con un pH 8.5 neutralizado con una solución tampón con pH similar (fig.61).



Fig.61 Limpieza con gel de Carbopol®

¹⁴ Método para la elección del disolvente orgánico idóneo para la limpieza de superficies pictóricas creado por Paolo Cremonesi, en él se utilizan mezclas de ligroina-acetona, ligroina-etanol y acetona-etanol.

c) **Eliminación de repintes:** Para la eliminación del repinte ubicado en la parte inferior derecha del cuadro se han utilizado hisopos humedecidos con Dimetil al 10% en acetato de etilo (fig.62).



Fig.62 Lugar donde se encontraba el repinte

Por último se han realizado las debidas medidas colorimétricas de los puntos clave siguiendo el mismo procedimiento anteriormente descrito.

4.2.4 Barnizado de la obra y medición de los puntos clave barnizados.

Tras la eliminación del barniz y de los repintes se habían pasmado varias zonas del cuadro, lo cual no se podían ver los colores correctamente, por lo que fue preciso barnizar el cuadro para saturarlos.

Para ello, se ha utilizado un volumen de barniz madre con cinco volúmenes de White Spirit. Este barniz madre esta compuesto por resina Dammar y White Spirit al 50%.

Por último se volvieron a tomar medidas colorimétricas de los puntos clave barnizados.

4.2.5 Captura final

Con objeto de poder comparar el resultado de la limpieza del cuadro con el resultado de la limpieza virtual se ha realizado la fotografía final con los mismos parámetros y de igual manera que en las fotos iniciales.

4.2.6 Tratamiento de los datos recogidos con el espectrofotómetro.

Después de recoger todas las medidas colorimétricas debemos analizar los datos obtenidos mediante el programa Microsoft Excel.

Se han realizado tres medidas por cada punto en sucio, en limpio y una vez barnizado, por lo que el primer paso es hacer la media y la desviación de cada punto (fig.63).

LIMPIOS							BARNIZADOS						
Disparos	Nombre	L*	a*	b*	C*	h	Disparos	Nombre	L*	a*	b*	C*	h
	1 Color 1	36,67	-5,17	-2,03	5,56	201,38		1 Color 1	31,82	-5,61	-0,79	5,67	187,97
	2 Color 1	37,81	-5,24	-2,41	5,77	204,76		2 Color 1	31,82	-5,66	-0,77	5,71	187,74
	3 Color 1	36,52	-5,46	-1,23	5,60	192,68		3 Color 1	31,82	-5,65	-0,77	5,71	187,77
m		37,00	-5,29	-1,89	5,64	199,61	m		31,82	-5,64	-0,78	5,70	187,83
δ		0,71	0,15	0,60	0,11	6,23	δ		0,00	0,03	0,01	0,02	0,13
	1 Color 2	43,13	-6,09	-0,23	6,09	182,17		1 Color 2	40,30	-6,11	1,14	6,22	169,48
	2 Color 2	41,56	-6,07	1,40	6,23	166,99		2 Color 2	40,30	-6,12	1,15	6,23	169,40
	3 Color 2	42,66	-6,09	0,40	6,11	176,20		3 Color 2	40,29	-6,10	1,15	6,21	169,29
m		42,45	-6,08	0,52	6,14	175,12	m		40,30	-6,11	1,15	6,22	169,39
δ		0,81	0,01	0,82	0,08	7,65	δ		0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
	1 Color 3	54,58	20,18	23,28	30,80	49,09		1 Color 3	57,46	15,16	22,99	27,54	56,59
	2 Color 3	57,35	16,97	22,72	28,36	53,24		2 Color 3	57,46	15,17	23,00	27,55	56,60
	3 Color 3	57,36	16,92	22,81	28,40	53,43		3 Color 3	57,45	15,18	23,03	27,59	56,60
m		56,43	18,02	22,94	29,19	51,92	m		57,46	15,17	23,01	27,56	56,60
δ		1,60	1,87	0,30	1,40	2,45	δ		0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
	1 Color 4	28,55	19,61	24,96	31,74	51,85		1 Color 4	21,52	17,84	22,44	28,67	51,52
	2 Color 4	28,30	19,33	24,83	31,47	52,10		2 Color 4	23,81	19,73	20,55	28,49	46,17
	3 Color 4	28,48	19,07	24,76	31,25	52,40		3 Color 4	23,81	19,70	20,56	28,47	46,22
m		28,44	19,34	24,85	31,49	52,12	m		23,05	19,09	21,18	28,54	47,97
δ		0,13	0,27	0,10	0,25	0,28	δ		1,32	1,08	1,09	0,11	3,07
	1 Color 5	49,25	8,66	18,18	20,13	64,54		1 Color 5	50,34	7,41	24,14	25,25	72,94
	2 Color 5	46,64	11,74	17,85	21,36	56,67		2 Color 5	50,30	7,41	24,14	25,25	72,94
	3 Color 5	48,28	8,98	20,62	22,49	66,45		3 Color 5	50,35	7,41	24,13	25,24	72,93
m		48,06	9,79	18,88	21,33	62,55	m		50,33	7,41	24,14	25,25	72,94
δ		1,32	1,69	1,51	1,18	5,18	δ		0,03	0,00	0,01	0,01	0,01
	1 Color 6	33,29	-3,86	-0,52	3,89	187,64		1 Color 6	30,94	-3,74	-0,45	3,77	186,82
	2 Color 6	33,06	-3,93	-0,28	3,94	184,03		2 Color 6	30,94	-3,73	-0,45	3,75	186,84
	3 Color 6	33,58	-3,94	-0,62	3,99	188,90		3 Color 6	30,94	-3,74	-0,43	3,77	186,59
m		33,31	-3,91	-0,47	3,94	186,86	m		30,94	-3,74	-0,44	3,76	186,75
δ		0,26	0,04	0,17	0,05	2,53	δ		0,00	0,01	0,01	0,01	0,14
	1 Color 7	24,50	9,86	21,69	23,82	65,55		1 Color 7	28,89	9,59	25,17	26,93	69,14
	2 Color 7	24,30	9,92	21,63	23,80	65,36		2 Color 7	28,90	9,61	25,18	26,95	69,11
	3 Color 7	24,80	10,18	22,68	24,86	65,82		3 Color 7	28,89	9,60	25,26	27,02	69,19
m		24,53	9,99	22,00	24,16	65,58	m		28,89	9,60	25,20	26,97	69,15
δ		0,25	0,17	0,59	0,61	0,23	δ		0,01	0,01	0,05	0,05	0,04

Fig.63 Cálculo de medias y desviaciones.

Debido a que en alguno de los puntos la desviación resultó mayor que 1, se han eliminado las medidas que más se alejan de la media y se ha vuelto a calcular la media. Después, utilizando las medias resultantes se ha calculado la diferencia de color que existe entre los puntos sucios, los limpios y los barnizados, con el objeto de averiguar si se ha producido algún cambio y cual de los puntos ha cambiado más (fig.64). Para calcular las diferencias se han utilizado las siguientes formulas:

$$\Delta L^* = L^*(\text{limpio}) - L^*(\text{sucio})$$

$$\Delta C^* = C^*(\text{limpio}) - C^*(\text{sucio})$$

$$\Delta a^* = a^*(\text{limpio}) - a^*(\text{sucio})$$

$$\Delta h^0 = h^0(\text{limpio}) - h^0(\text{sucio})$$

$$\Delta b^* = b^*(\text{limpio}) - b^*(\text{sucio})$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

DIFERENCIA ENTRE COLORES SUCIOS Y COLORES LIMPIOS											
Nombre	L*(SUCIO)	L*(LIMPIO)	ΔL^*	a*(SUCIO)	a*(LIMPIO)	Δa^*	b*(SUCIO)	b*(LIMPIO)	Δb^*	ΔE^*	
1 Azul	20,10	37,00	16,90	-2,99	-5,29	-2,30	17,46	-1,89	-19,35	25,79	
2 Azul claro	28,18	42,45	14,27	-3,50	-6,08	-2,59	16,28	0,52	-15,76	21,42	
3 Carnación clara	40,52	57,36	16,84	11,81	16,95	5,14	30,41	22,77	-7,65	19,19	
4 Rojo claro	17,37	28,44	11,07	14,36	19,34	4,98	24,16	24,85	0,69	12,16	
5 Rosa	28,29	48,77	20,48	12,75	8,82	-3,93	24,70	19,40	-5,30	21,51	
6 Azul oscuro	22,57	33,31	10,75	-2,72	-3,91	-1,20	14,84	-0,47	-15,31	18,75	
7 Carnación Oscura	19,54	24,53	4,99	10,00	9,99	-0,01	28,59	22,00	-6,59	8,27	
8 Blanco	51,13	73,57	22,44	2,42	-1,92	-4,34	27,32	10,85	-16,47	28,17	
9 Gris	23,49	34,99	11,50	0,30	-0,96	-1,26	15,15	1,17	-13,98	18,15	
10 Marrón claro caballo	12,78	19,93	7,15	6,03	3,48	-2,55	20,62	17,96	-2,66	8,05	
11 Rojo oscuro	18,52	13,94	-4,58	6,74	13,17	6,43	17,14	20,56	3,42	8,60	
12 Marrón oscuro caballo	2,16	4,54	2,38	4,28	3,69	-0,60	3,57	7,53	3,96	4,65	
13 Gris oscuro	9,26	19,23	9,97	2,97	0,02	-2,96	14,72	6,17	-8,55	13,46	
14 Azul montaña	11,92	27,53	15,61	-1,42	-3,04	-1,62	16,58	6,52	-10,06	18,63	
15 Marrón claro suelo	27,66	40,60	12,94	5,91	4,56	-1,35	28,93	21,10	-7,83	15,18	
16 Negro	0,09	0,15	0,06	0,00	0,30	0,30	0,00	0,10	0,10	0,32	
17 Marrón suelo	13,63	25,07	11,44	7,14	1,12	-6,02	21,37	16,22	-5,16	13,91	
18 Marrón oscuro suelo	4,64	7,56	2,92	7,08	4,78	-2,31	7,82	12,07	4,26	5,65	

Nombre	L*(SUCIO)	L*(LIMPIO)	ΔL^*	C*(SUCIO)	C*(LIMPIO)	ΔC^*	h*(SUCIO)	h*(LIMPIO)	Δh^*
1 Azul	20,10	37,00	16,90	17,71	5,64	-12,06	99,75	199,61	99,86
2 Azul claro	28,18	42,45	14,27	16,65	6,14	-10,51	102,11	175,12	73,01
3 Carnación clara	40,52	57,36	16,84	32,62	28,38	-4,24	68,78	53,34	-15,45
4 Rojo claro	17,37	28,44	11,07	31,49	31,49	0,00	3,38	59,29	52,12
5 Rosa	28,29	48,77	20,48	27,80	21,31	-6,49	62,70	65,50	2,80
6 Azul oscuro	22,57	33,31	10,75	15,09	3,94	-11,15	100,38	186,86	86,48
7 Carnación Oscura	19,54	24,53	4,99	30,29	24,16	-6,13	70,71	65,58	-5,13
8 Blanco	51,13	73,57	22,44	27,42	11,02	-16,40	84,93	100,05	15,12
9 Gris	23,49	34,99	11,50	15,15	1,51	-13,64	88,87	129,62	40,75
10 Marrón claro caballo	12,78	19,93	7,15	21,48	18,29	-3,19	73,71	79,02	5,31
11 Rojo oscuro	18,52	13,94	-4,58	18,41	24,44	6,03	68,54	57,29	-11,26
12 Marrón oscuro caballo	2,16	4,54	2,38	5,57	8,39	2,82	39,82	63,74	23,92
13 Gris oscuro	9,26	19,23	9,97	15,02	6,17	-8,85	78,61	89,86	11,25
14 Azul montaña	11,92	27,53	15,61	16,64	7,19	-9,45	94,87	114,93	20,07
15 Marrón claro suelo	27,66	40,60	12,94	29,53	21,58	-7,95	78,47	77,82	-0,65
16 Negro	0,09	0,15	0,06	0,00	0,21	0,21	16,93	15,16	-1,77
17 Marrón suelo	13,63	25,07	11,44	22,55	16,26	-6,30	71,55	86,05	14,50
18 Marrón oscuro suelo	4,64	7,56	2,92	10,55	12,99	2,44	47,83	68,37	20,54

Fig.64 Cálculo de las diferencias de color.

Por otro lado se han transformado los datos colorimétricos a términos léxicos, es decir darles un nombre cromático a los datos obtenidos en cada punto. De esta forma podemos observar cual era el color inicial de cada punto y en qué color se ha convertido después de la limpieza y del barnizado (fig.65).

Nombre	hº(SUCIO)	Nom	hº(LIMPIO)	Nom	hº(BARNIZ)	Nom
1 Azul	99,75	Amarillo- Limonado	199,61	Amarillo limonado	187,83	Esmeralda cyanado
2 Azul claro	102,11	Amarillo- Limón	175,12	Esmeralda verdoso	169,39	Esmeralda verdoso
3 Carnación clara	68,78	Naranja - Amarillent	53,34	Naranja rojizo	56,60	Naranja
4 Rojo claro	59,29	Naranja	52,12	Naranja rojizo	46,20	Rojo- Naranja
5 Rosa	62,70	Naranja	65,50	Naranja amarillento	72,94	Naranja- Amarillo
6 Azul oscuro	100,38	Amarillo- Limonado	186,86	Esmeralda cyanado	186,75	Esmeralda cyanado
7 Carnación Oscura	70,71	Naranja - Amarillent	65,58	Naranja amarillento	69,15	Naranja amarillento
8 Blanco	84,93	Amarillo-Anaranjado	100,05	Amarillo limonado	99,09	Amarillo limonado
9 Gris	88,87	Amarillo	129,62	Limón verdoso	107,81	Amarillo- Limón
10 Marrón claro caballo	73,71	Naranja - Amarillent	79,02	Naranja- Amarillo	78,14	Naranja- Amarillo
11 Rojo oscuro	68,54	Naranja - Amarillent	57,29	Naranja rojizo	52,39	Naranja rojizo
12 Marrón oscuro caballo	39,82	Rojo- Anaranjado	63,74	Naranja	65,13	Naranja amarillento
13 Gris oscuro	78,61	Naranja - Amarillent	89,86	Amarillo	87,69	Amarillo anaranjado
14 Azul montaña	94,87	Amarillo	114,93	Limón amarillento	114,35	Limón amarillento
15 Marrón claro suelo	78,47	Naranja - Amarillent	77,82	Naranja- Amarillo	77,98	Amarillo anaranjado
16 Negro	16,93	Magenta-rojo	15,16	Magenta-rojo	11,62	Magenta-rojo
17 Marrón suelo	71,55	Naranja - Amarillent	86,05	Amarillo anaranjado	88,08	Amarillo
18 Marrón oscuro suelo	47,83	Rojo-Naranja	68,37	Naranja amarillento	53,50	Naranja rojizo

Fig.65 Nominación cromática.

Para finalizar se ha representado gráficamente cada punto en sus diagramas de color correspondiente, diferenciando los datos de los puntos sucios con los limpios y los barnizados (fig.66).

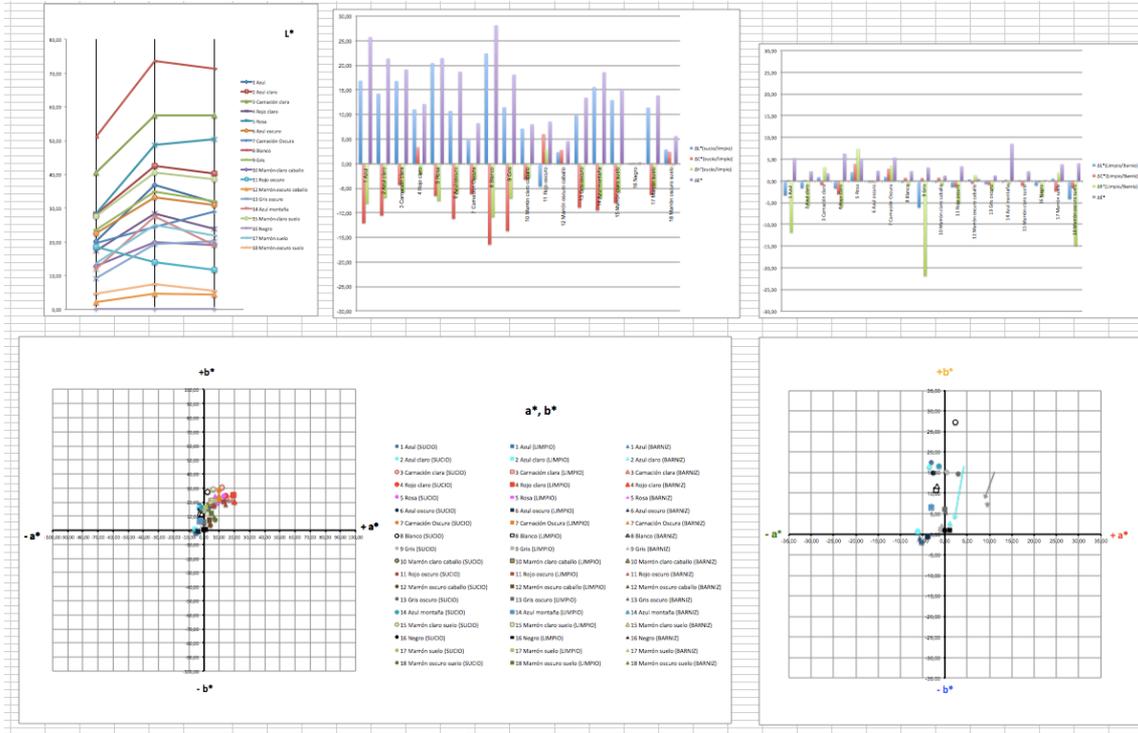


Fig.66 Diferentes tipos de gráficas.

4.2.7 Corrección de fotografías

Como ya se ha citado anteriormente cada fotografía realizada a la obra a sido acompañada por una carta de color Kodak q13 *Color Separation Guide*. Esta carta nos ha sido de gran ayuda para que los colores de las imágenes sean los más semejantes a la realidad.

Para corregir las fotografías debemos cambiar los parámetros colorimétricos de la carta de color fotografiada con los parámetros reales que posee. Para esta tarea se ha utilizado el programa Adobe Photoshop® de la siguiente manera:

Toma de muestra de color:

Una vez que tengamos abierta la fotografía inicial del cuadro utilizaremos la herramienta “muestra de color” y haremos clic en el color blanco de la carta de color fotografiada, por defecto nos indica los datos RGB del punto seleccionado (fig.67 y 68).

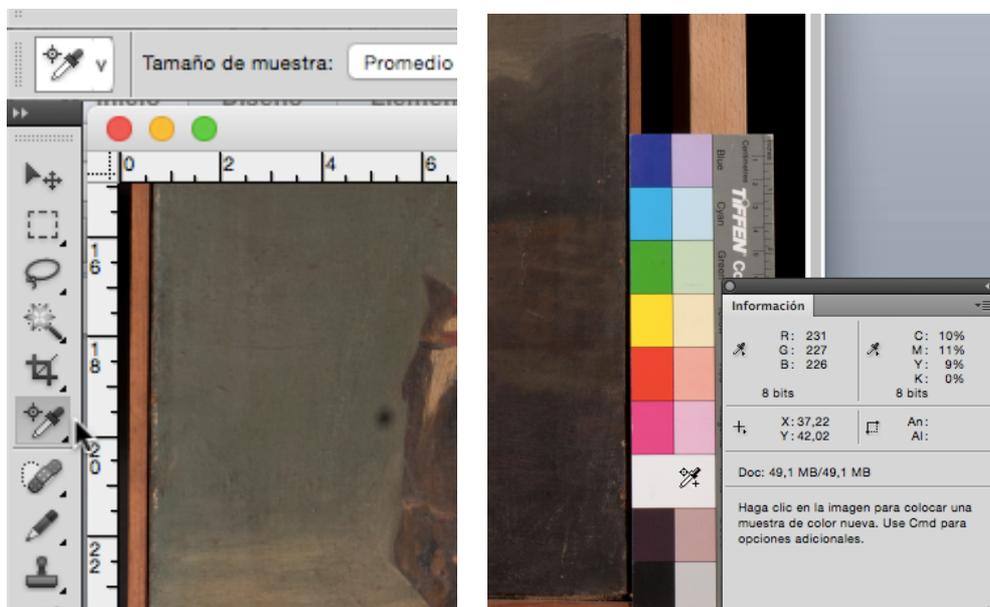


Fig.67 Herramienta muestra de color. Fig.68 Información RGB del punto seleccionado.

Transformación de los datos: Después pulsamos en “Imagen”, seleccionamos del desplegable “Ajustes” y pinchamos en “Curvas” del nuevo desplegable. Aparece un cuadro de dialogo donde nos muestra la curva RGB y el histograma de la fotografía. Para cambiar los datos debemos seleccionar “A medida” del primer desplegable, y “Rojo” del segundo. De esta manera podemos mover la curva del parámetro R de la fotografía, la moveremos hasta que coincidan con el parámetro R real de la carta de color (fig.69).

Después cambiamos a *Verde* del segundo desplegable y movemos la curva hasta que el parámetro G coincida con el parámetro G real. Por último seleccionamos *Azul* del segundo desplegable y movemos la curva hasta que el parámetro B nos coincida con el parámetro B real.

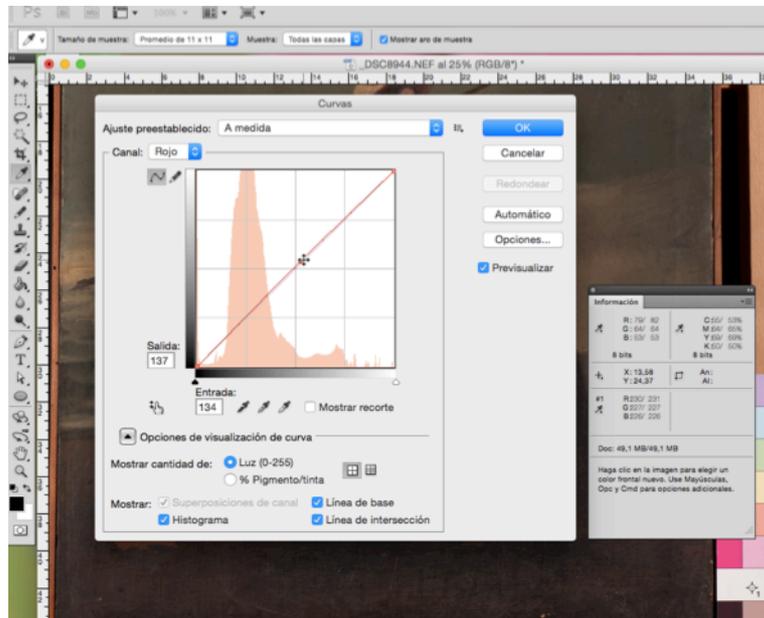


Fig.69 Cuadro de dialogo "Curvas"

Volveremos a repetir estos pasos para corregir los parámetros RGB de los colores Azul, Amarillo, Magenta y Gris de la carta de color fotografiada. Al modificar estos datos la imagen va variando sus tonos hasta igualarse con los tonos que debe tener en realidad (fig.70).

Color	Fotografía			→	Realidad		
	R	G	B		R	G	B
Azul	57	51	137	→	44	43	123
Amarillo	252	223	64	→	248	224	0
Magenta	215	57	125	→	223	3	122
Blanco	237	233	232	→	238	238	238
Gris	201	196	194	→	198	198	198

Fig.70 Datos colorimétricos tomados de la carta de color fotografiada izq. y datos colorimétricos de la carta de color Kodak q13 *Color Separation Guide* dcha.

4.2.8 Limpieza virtual

La limpieza virtual del barniz envejecido se realiza variando las coordenadas CIELab de los colores sucios de la fotografía a las coordenadas CIELab de los colores limpios medidas con el espectrofotómetro.

Para realizar esta transformación es necesario llevar a cabo los siguientes pasos mediante el programa Adobe Photoshop®:

Cambiar RGB a L*a*b*:

Una vez que tengamos la imagen inicial del cuadro corregida debemos cambiar el modo de color RGB al modo de color Lab. Para ello pulsaremos en “Imagen”, seleccionamos “Modo” del desplegable y marcamos “Color Lab” del siguiente desplegable (fig.71).

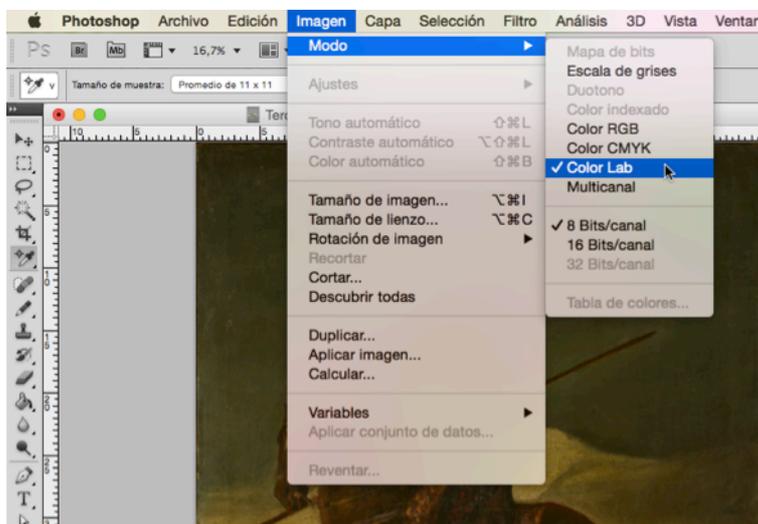


Fig.71 Cambio de RGB a Lab

Crear una nueva capa con los puntos seleccionados y superponerla sobre la fotografía original:

Para saber cual es el punto exacto donde debemos pinchar para realizar las tomas de color, se ha creado una nueva capa con una fotografía de los acetatos que utilizamos para la medición colorimétrica.

Superponemos la fotografía de los acetatos sobre la fotografía del cuadro de manera que encajen perfectamente, después creamos una nueva capa en blanco donde marcaremos todos los puntos del acetato (fig.72).

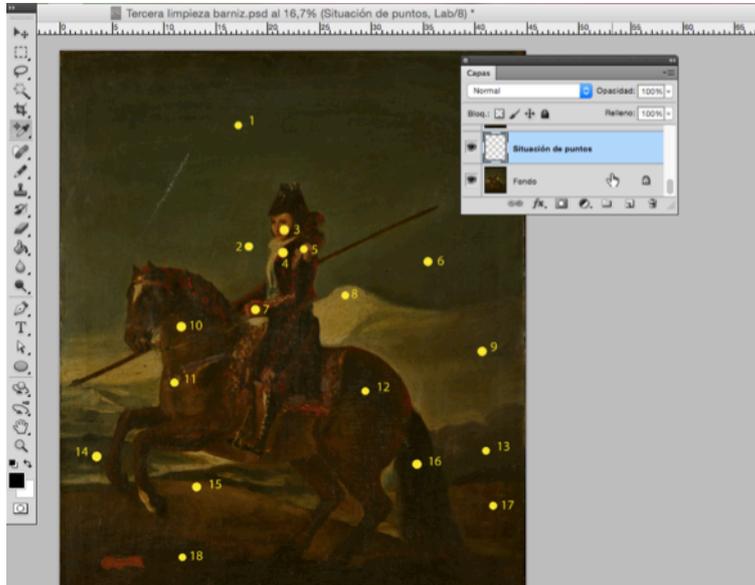


Fig.72 Creación de una nueva capa con los puntos seleccionados.

Toma de muestras del color:

Para realizar las muestras de color debemos tener seleccionada la capa de la fotografía inicial y encendida la capa de los puntos. De esta manera podremos hacer clic en el primer punto a transformar con la herramienta "muestra de color" asegurándonos que pinchamos sobre la fotografía inicial. Pero antes, en la barra superior debemos seleccionar un tamaño de muestra "promedio de 51 x 51", quiere decir que no sólo seleccionaremos un pixel preciso, si no que realizará un promedio de un área de 51 x 51 pixeles (fig.73).

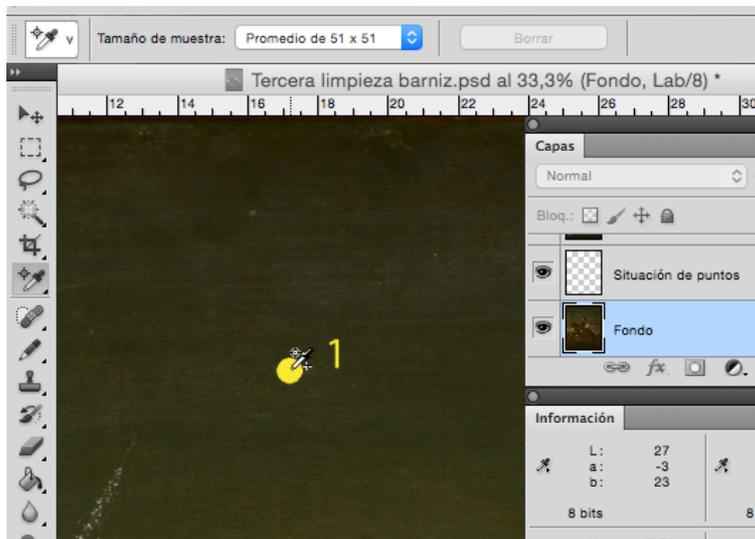


Fig.73 Toma de muestra de color

Creación de nuevas capas por colores:

Al pinchar con la herramienta “varita mágica” sobre el punto de color a transformar, ésta seleccionará todos los colores de la fotografía que sean semejantes él (fig.74). Si pinchamos en “perfeccionar borde” de la barra superior, aparece un cuadro de dialogo donde nos ofrece varias opciones para corregir el área seleccionada. En la sección de “salida” escogeremos “enviar a nueva capa” para guardar la selección (fig.75).

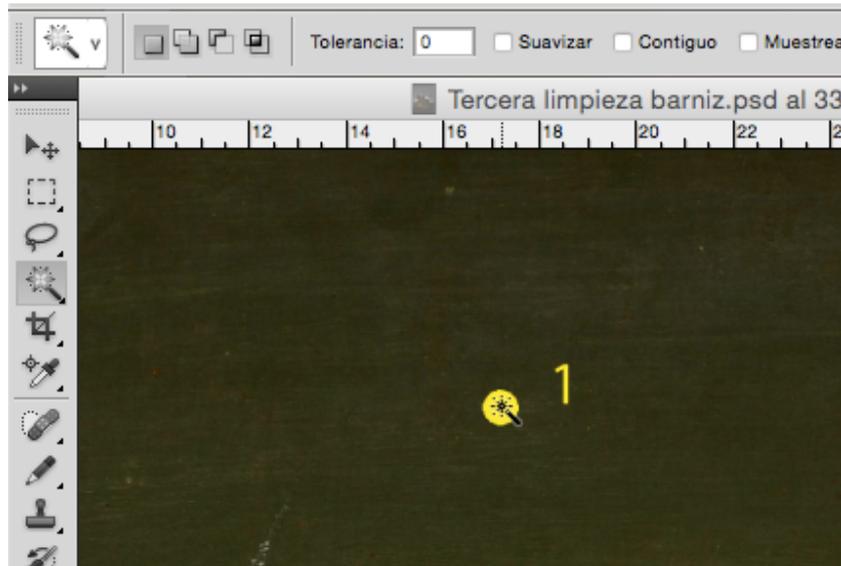


Fig.74 Herramienta varita mágica.

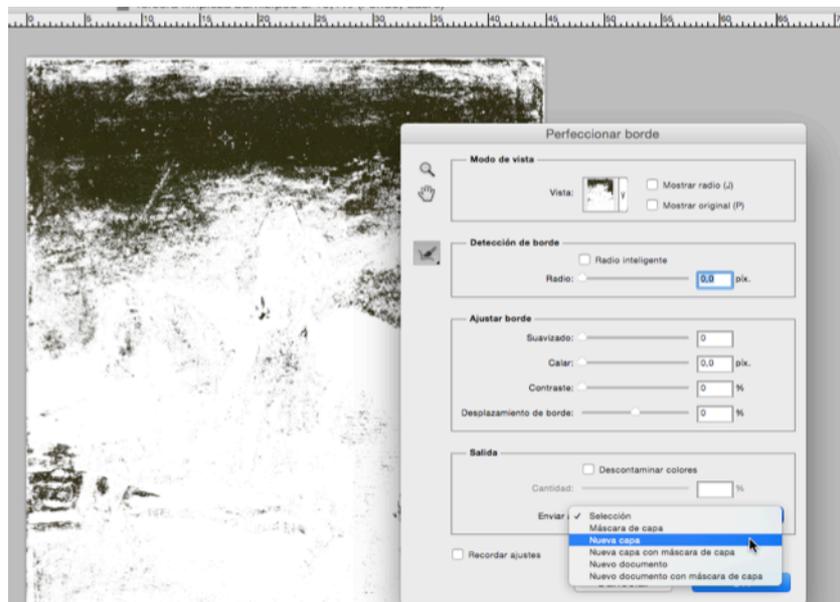


Fig.75 Cuadro de dialogo “Perfeccionar borde”.

Corregir el color de la nueva capa:

Una vez que tengamos la nueva capa con el color seleccionado variaremos sus parámetros L*a*b* para realizar la limpieza. En primer lugar debemos tener únicamente seleccionada la capa que queremos modificar, después pulsamos en “Imagen”, seleccionamos “Ajustes” del desplegable y pinchamos en “Curvas” del nuevo desplegable. Aparece un cuadro de dialogo donde nos muestra la curva L*a*b* y el histograma de la fotografía. Para cambiar los datos debemos seleccionar “A medida” del primer desplegable, y “Luminosidad” del segundo. De esta manera podemos mover la curva del parámetro L, la moveremos hasta que coincidan con el parámetro L del color ya limpio. Después cambiamos a “A” del segundo desplegable y movemos la curva hasta que el parámetro A coincida con el parámetro A del color limpio. Por último seleccionamos “B” del segundo desplegable y movemos la curva hasta que el parámetro B nos coincida con el parámetro B del color limpio (fig.76). Repetiremos los dos pasos anteriores hasta crear y modificar las dieciocho capas correspondientes a los puntos muestra.

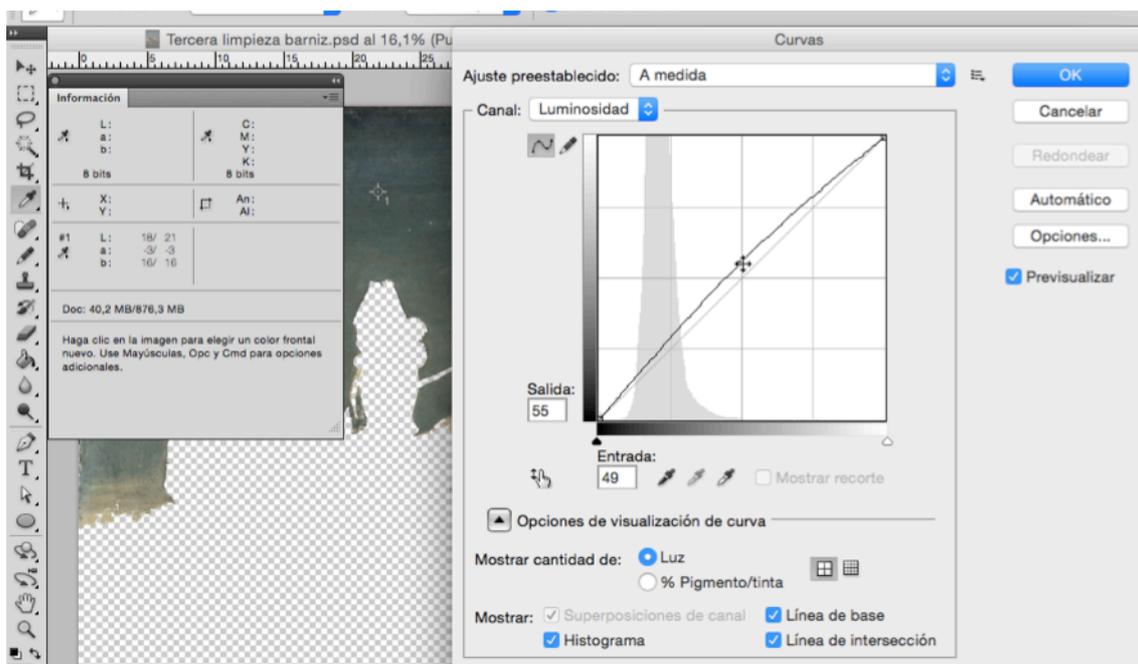


Fig.76 Transformación de los valores L*a*b* de la nueva capa.

Unificar todas las capas:

Por último debemos unificar todas las capas creadas. Para ello activaremos todas las capas (pulsando en el cuadrado de la izquierda de cada capa y haciendo que aparezca el icono de un ojo) excepto la fotografía inicial y la capa de puntos, después pulsaremos en “Capa” de la barra superior y seleccionaremos “Acoplar visibles” del desplegable (fig.77).

Al unir todas las capas obtendremos una imagen de la obra con los parámetros de color modificados, es decir una fotografía de la limpieza virtual del cuadro. Es posible que las capas con los colores más oscuros tapen a las capas con los colores más claros, por esta razón es conveniente ordenar las capas, de más clara a más oscura antes de unificarlas.

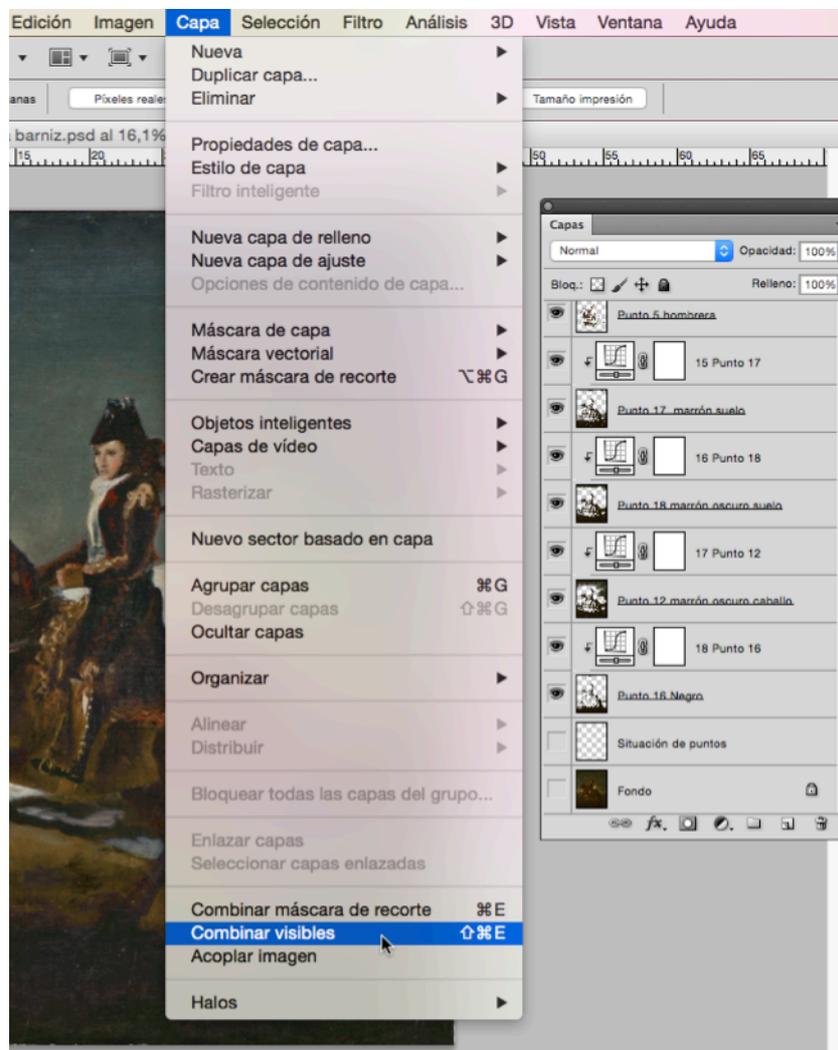


Fig.77 Combinar las capas visibles

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 Mediciones colorimétricas

Después del tratamiento de los datos colorimétricos se han podido determinar los siguientes cambios cromáticos durante la limpieza de la pintura:

En la siguiente tabla y en su correspondiente gráfico (fig.78 y 79) se observa la variación de luminosidad (coordenada L^* CIE $L^*a^*b^*$) de cada uno de los puntos: en sucio, en limpio y barnizados. Se puede ver que los valores han aumentado, lo que significa que los colores se han aclarado después de la limpieza, sin embargo, esto cambia tras el barnizado, que muestra colores que han oscurecido. Esto es debido a que tras limpieza varias zonas de la pintura se pasaron quedando blanquecinas, pero al ser barnizadas los colores recobraron sus tonalidades. También se percibe que hay un punto (11Rojo oscuro) que tras la limpieza y el barnizado oscurece, debido a que este color presentaba un tono blanquecino antes de la limpieza.

Nombre	$L^*(SUCIO)$	$L^*(LIMPIO)$	$L^*(BARNIZ)$
1 Azul	20,10	37,00	31,82
2 Azul claro	28,18	42,45	40,30
3 Carnación clara	40,52	57,36	57,46
4 Rojo claro	17,37	28,44	23,81
5 Rosa	28,29	48,77	50,33
6 Azul oscuro	22,57	33,31	30,94
7 Carnación Oscura	19,54	24,53	28,89
8 Blanco	51,13	73,57	71,41
9 Gris	23,49	34,99	32,03
10 Marrón claro caballo	12,78	19,93	19,01
11 Rojo oscuro	18,52	13,94	11,61
12 Marrón oscuro caballo	2,16	4,54	4,44
13 Gris oscuro	9,26	19,23	20,24
14 Azul montaña	11,92	27,53	18,95
15 Marrón claro suelo	27,66	40,60	38,57
16 Negro	0,09	0,15	0,09
17 Marrón suelo	13,63	25,07	22,04
18 Marrón oscuro suelo	4,64	7,56	5,49

Fig.78 Tabla de los valores L^* .

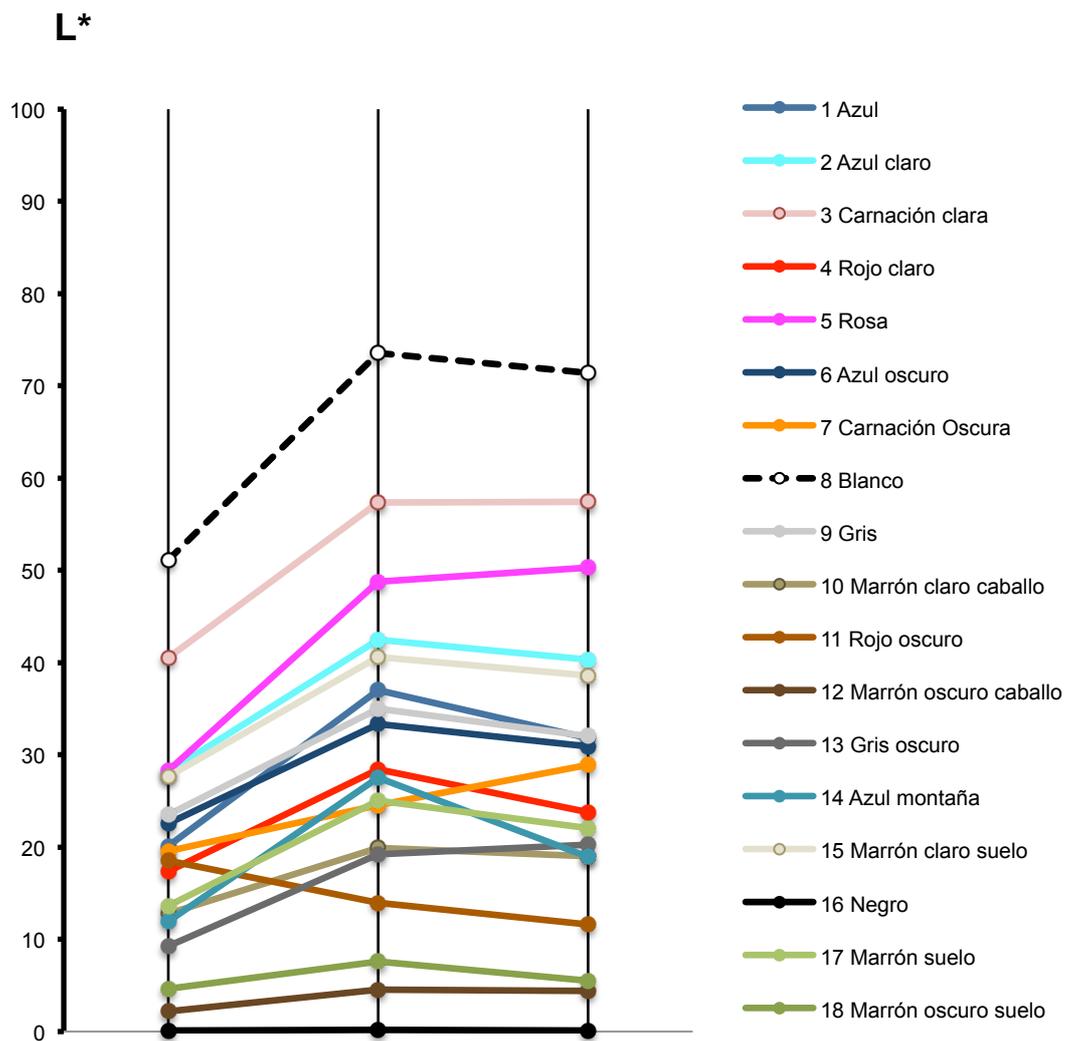


Fig.79 Gráfica de los valores L*.

El proceso de limpieza, además de influir en la luminosidad, también afecta a las coordenadas cromáticas. Seguidamente se valuarán las medidas C^* y h^* del sistema CIE $L^*C^*h^*$, puesto que sus gráficas de barras muestran claramente los cambios que se han generado en los colores después de la limpieza y el barnizado. Después analizaremos los datos a^* y b^* del sistema CIE $L^*a^*b^*$ porque es el que nos va a permitir calcular la diferencia de color total, valor muy útil para valorar el cambio de color en conjunto.

En la siguiente gráfica (fig.78) casi todos los colores han disminuido sus valores de C^* (croma), excepto en los rojos y en los marrones oscuro, suponemos que es debido a que la suciedad, de tono amarillento, hacía que sus valores de C^* fueran más altos. Tras el barnizado se nota un cambio menor, aunque el croma también ha subido en todos los colores excepto en los colores cálidos.

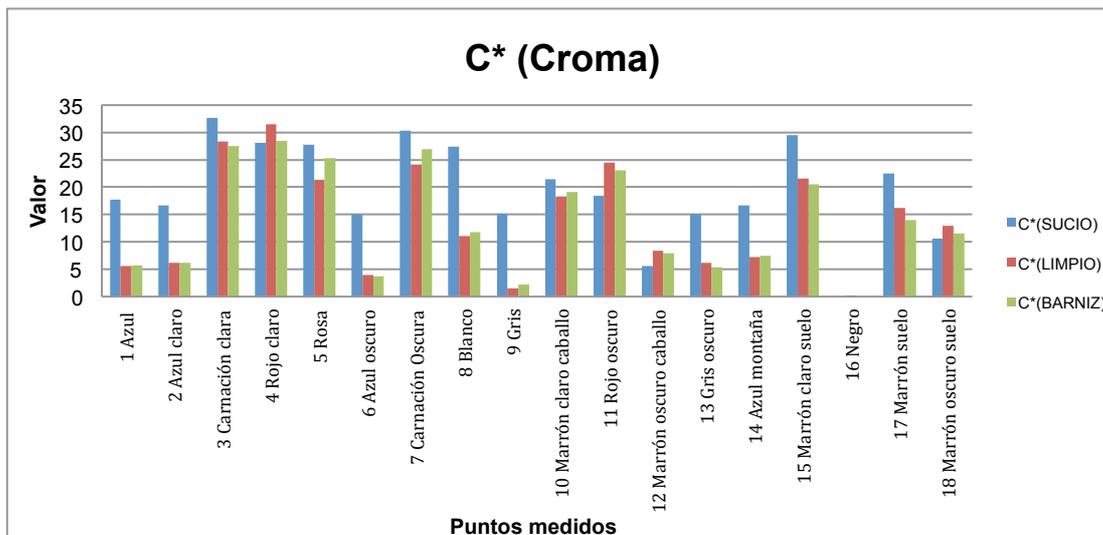


Fig.80 Grafica de valores C* para los puntos sucios, limpios y barnizados

En cuando al tono todos los colores han cambiado después de la limpieza, esto quiere decir que la pintura poseía una capa de suciedad y de barniz envejecido importante (fig.81).

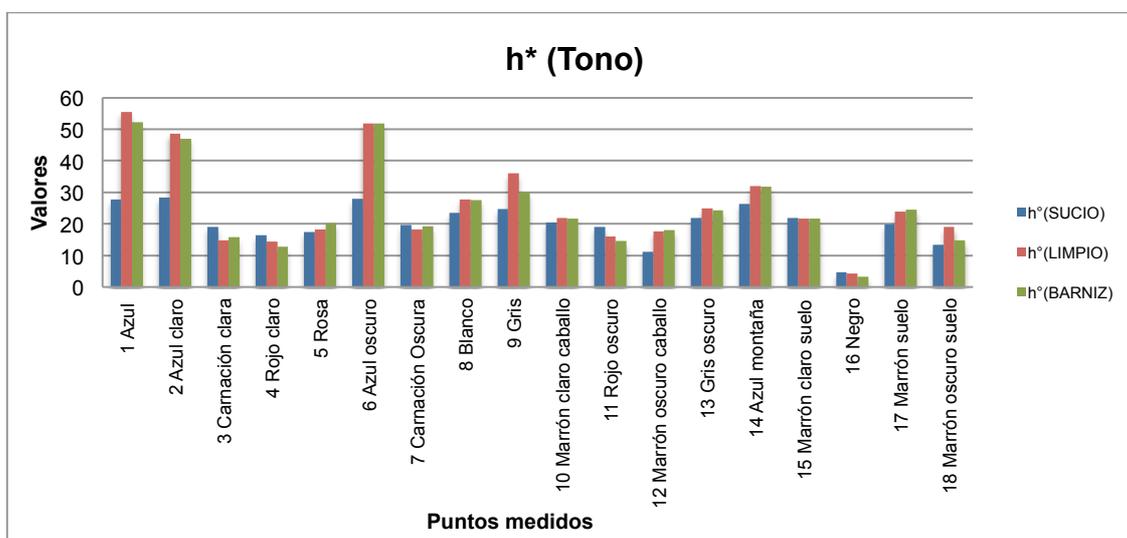


Fig.81 Grafica de valores h* para los puntos sucios, limpios y barnizados

En cuanto a las coordenadas a* y b* (fig.82) se observa que la mayoría de los colores tienden a disminuir los valores de b* después de la limpieza. Considerando que el parámetro b* proporciona la medida de la contribución del color amarillo (valor positivo de b*) y de azul (valor negativo de b*) en los colores, una disminución de la magnitud de b* implica que ha bajado la presencia del color amarillento después de la limpieza.

En los colores rojo claro, rojo oscuro, marrón oscuro caballo y marrón oscuro suelo, sin embargo, han subido los valores de b^* , posiblemente sea debido a la eliminación de la suciedad que ha hecho que resalten más dichos colores. Podemos ver que los valores de a^* suben en los colores rojo claro y rojo oscuro esto es porque cuando aumenta a^* , sube la presencia del color rojo y al contrario, cuando disminuye a^* , sube la presencia de color verde.

Nombre	$a^*(sucio)$	$a^*(limpio)$	$a^*(barniz)$	$b^*(sucio)$	$b^*(limpio)$	$b^*(barniz)$
1 Azul	-2,99	-5,29	-5,64	17,46	-1,89	-0,78
2 Azul claro	-3,50	-6,08	-6,11	16,28	0,52	1,15
3 Carnación clara	11,81	16,95	15,17	30,41	22,77	23,01
4 Rojo claro	14,36	19,34	19,72	24,16	24,85	20,56
5 Rosa	12,75	8,82	7,41	24,70	19,40	24,14
6 Azul oscuro	-2,72	-3,91	-3,74	14,84	-0,47	-0,44
7 Carnación Oscura	10,00	9,99	9,60	28,59	22,00	25,20
8 Blanco	2,42	-1,92	-1,86	27,32	10,85	11,61
9 Gris	0,30	-0,96	-0,68	15,15	1,17	2,10
10 Marrón claro caballo	6,03	3,48	3,92	20,62	17,96	18,68
11 Rojo oscuro	6,74	13,17	14,09	17,14	20,56	18,29
12 Marrón oscuro caballo	4,28	3,69	3,31	3,57	7,53	7,15
13 Gris oscuro	2,97	0,02	0,22	14,72	6,17	5,39
14 Azul montaña	-1,42	-3,04	-3,09	16,58	6,52	6,83
15 Marrón claro suelo	5,91	4,56	4,28	28,93	21,10	20,12
16 Negro	0	0,30	0,00	0	0,10	0,00
17 Marrón suelo	7,14	1,12	0,47	21,37	16,22	13,92
18 Marrón oscuro suelo	7,08	4,78	6,83	7,82	12,07	9,23

Fig. 82 Conjunto de coordenadas cromáticas para los 18 puntos registrados; sucios, limpios y barnizados del cuadro "Un Garrochista".

En la gráfica general de las coordenadas a^* y b^* podemos ver que todos los puntos se localizan en una zona reducida (fig.83)

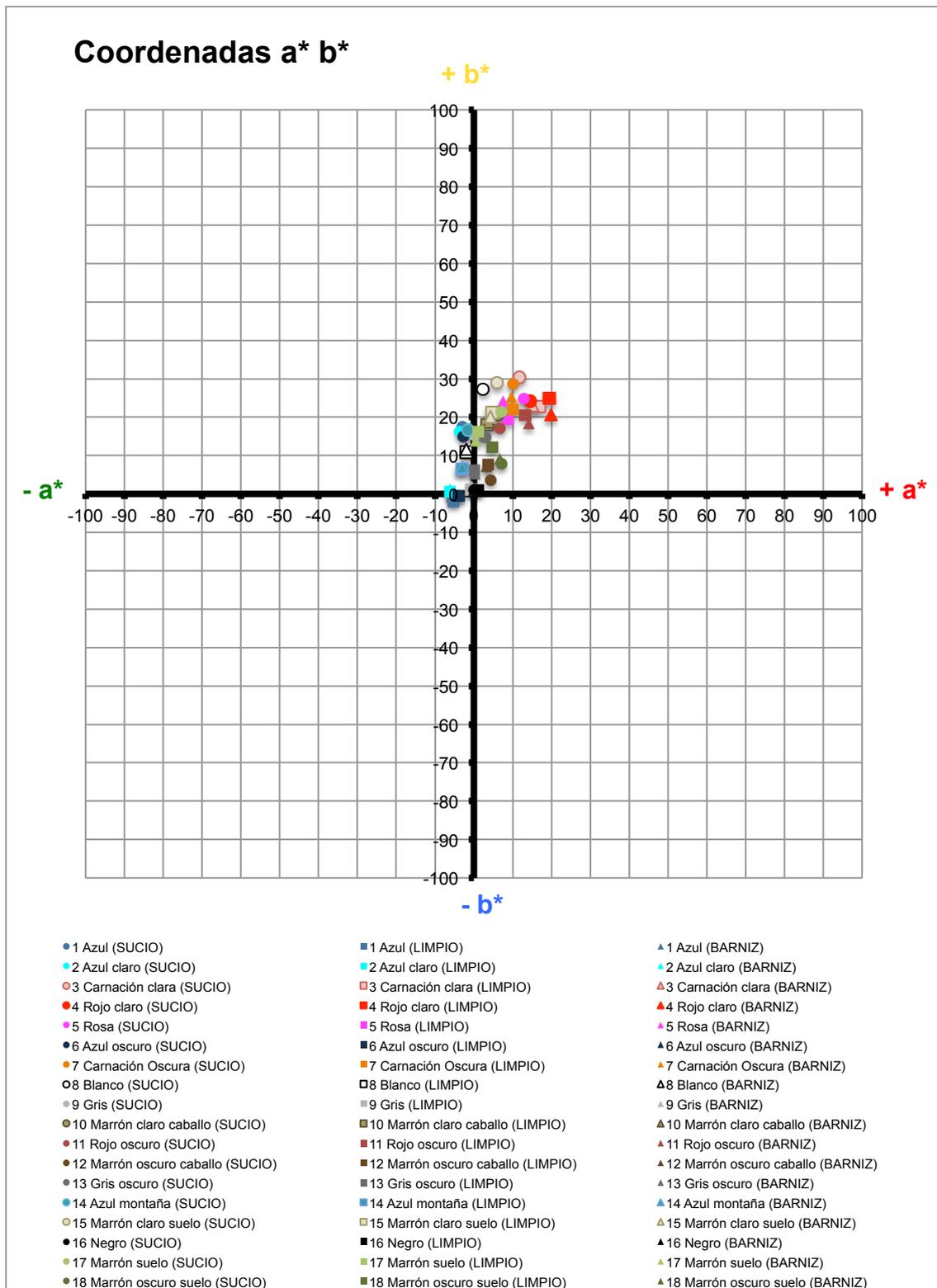


Fig. 83 Diagrama general de a^* y b^* de todos los puntos sucios, limpios y barnizados.

En la siguiente gráfica (fig.84) de las coordenadas a^* y b^* para los puntos azules, grises, blanco y negro podemos ver detalladamente como ha bajado el valor de b^* tras la limpieza. La flecha nos indica el cambio que se ha producido en el color azul claro que, tras la limpieza, ha pasado de un valor b^* de 16,28 a un valor b^* de 0,52. Sin embargo tras el barnizado no varía mucho.

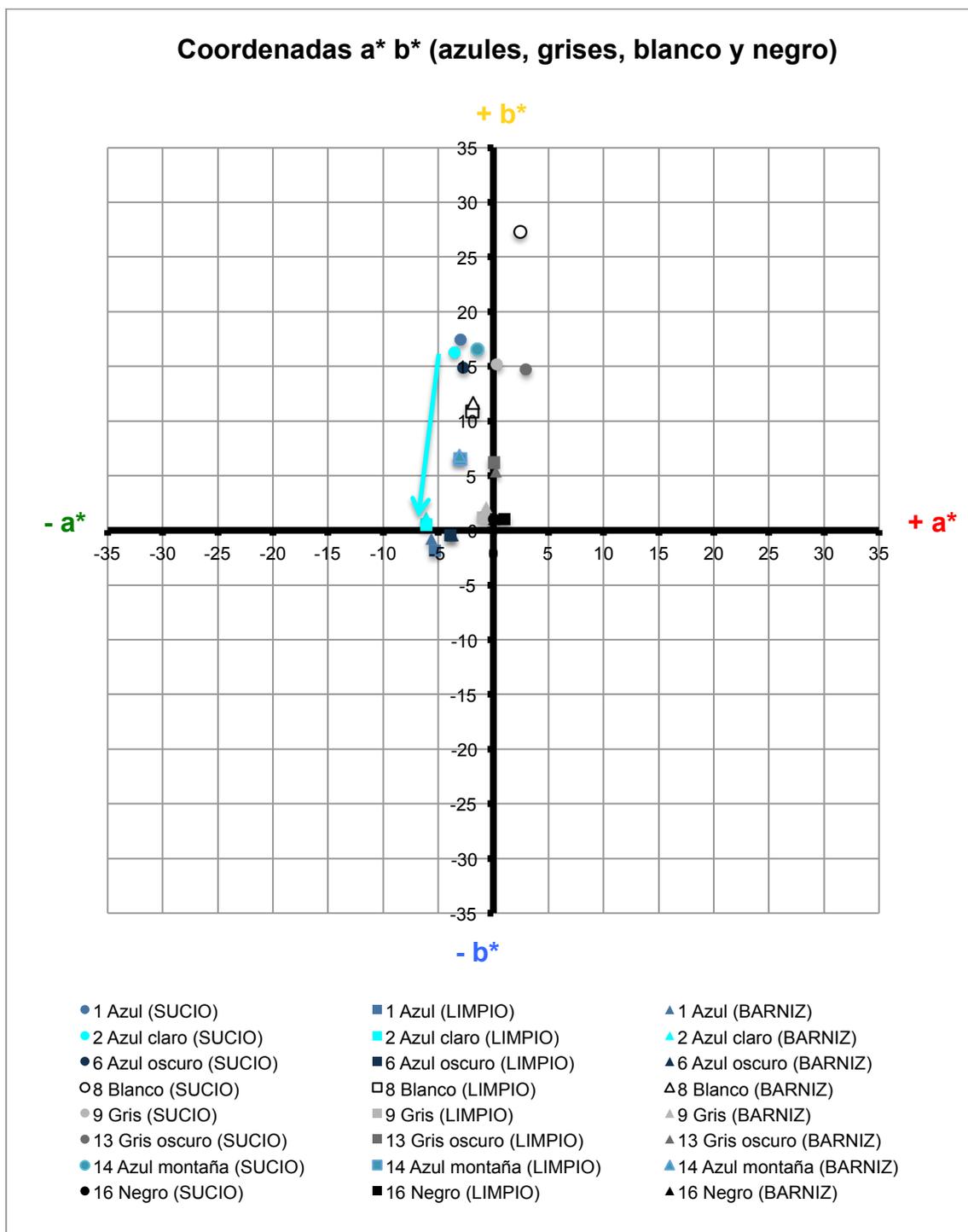


Fig. 84. Diagrama de las coordenadas a^* y b^* para los puntos azules, grises, blanco y negro.

En la siguiente gráfica (fig.85) de las coordenadas a^* y b^* para los puntos carnaciones, marrones, rojos y rosa podemos ver detalladamente como ha subido el valor de b^* tras la limpieza en los puntos rojos y marrones, después del barnizado el valor de b^* baja un poco. Las flechas nos indican el cambio sufrido por el color rojo claro que, tras la limpieza, su valor a^* es de 14,36 y varía a un valor a^* de 19,34, es decir, se vuelve más rojo. Tras el barnizado el valor que más cambia es el b^* que pasa de 24,85 a 20,56, es decir, ha bajado su tono amarillento.

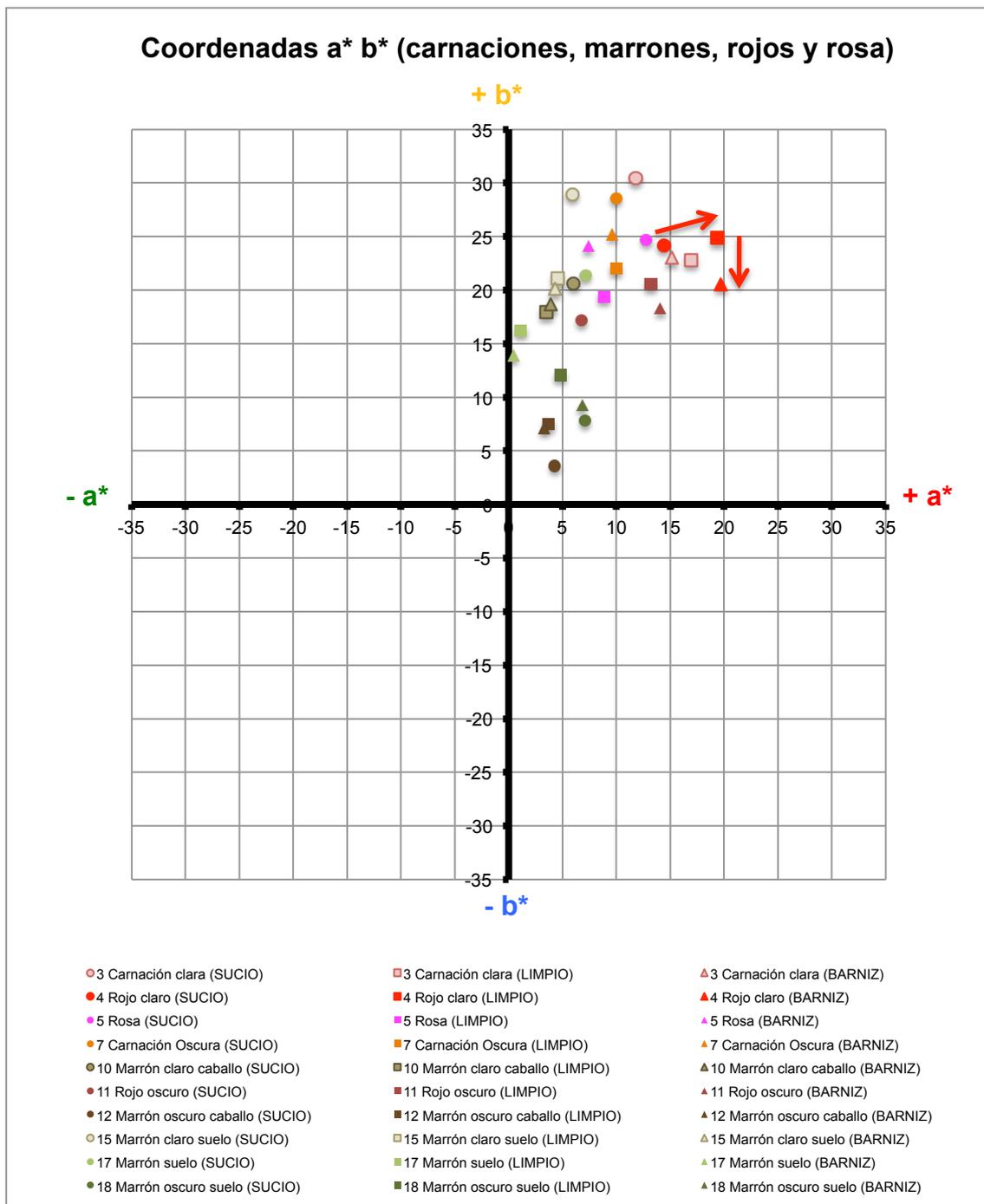


Fig. 85. Diagrama de las coordenadas a^* y b^* para los puntos carnaciones, marrones, rojos y rosa.

En los gráficos de espectro de color también podemos ver la variación que han sufrido los colores después de la limpieza y el barnizado. Por ejemplo, en la muestra 8 de color blanco se percibe que ha aumentado la intensidad entre el color sucio y limpio, pero después del barnizado ha bajado un poco (fig.86).

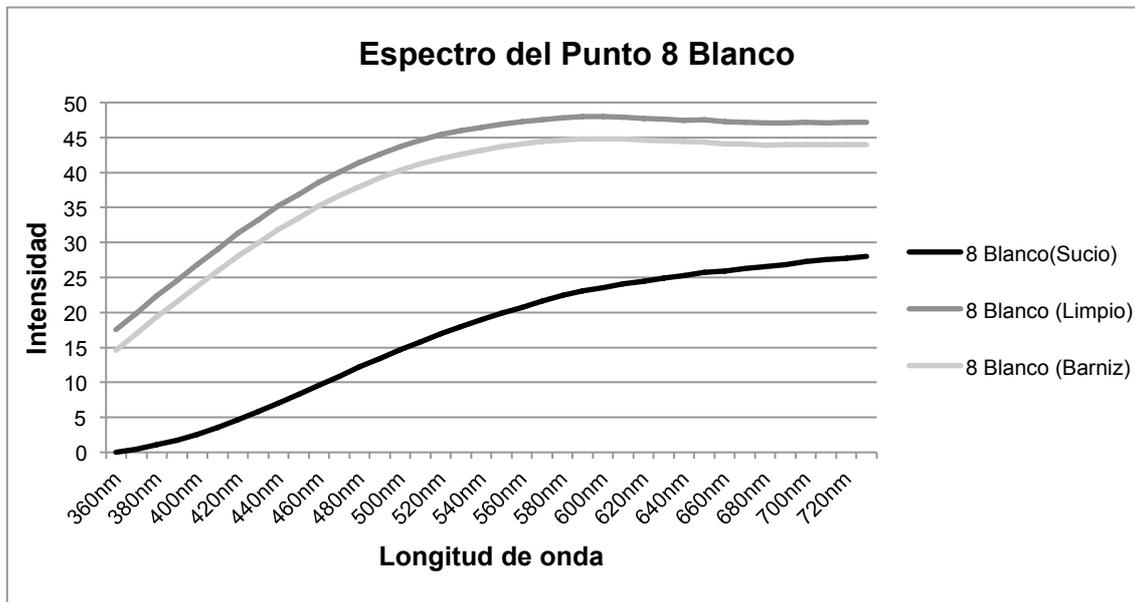


Fig. 86 Curvas de la muestra 8 de color blanco en sucio, limpio y barnizado.

Y en la muestra de color rojo claro hay poca diferencia entre el color sucio y la limpieza, sin embargo la intensidad sube mucho después del barnizado (fig. 87).

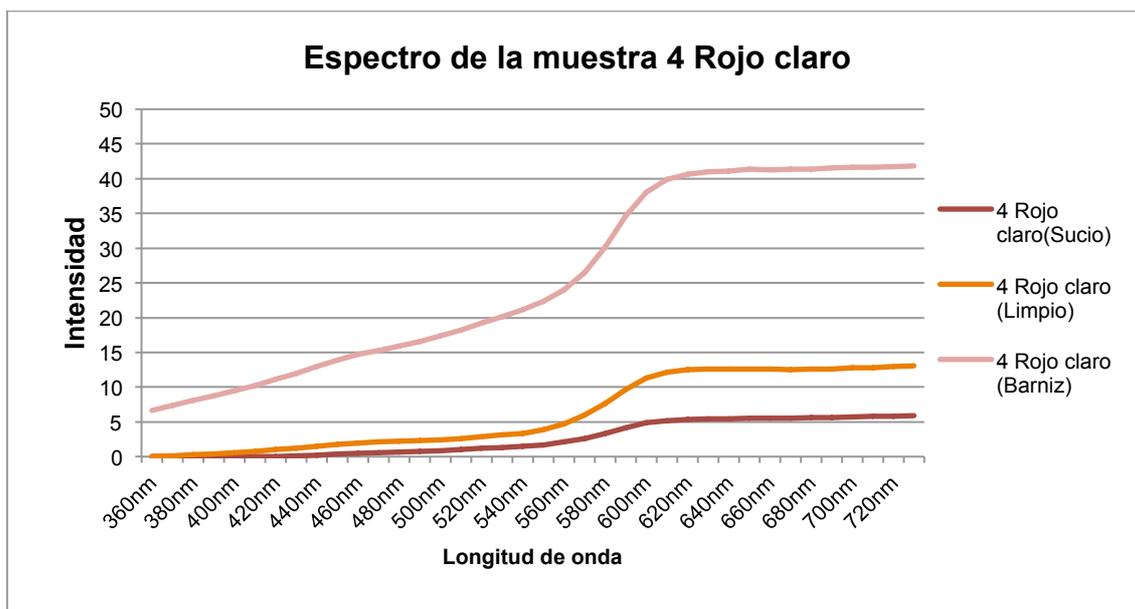


Fig. 87 Curvas de la muestra 4 de color rojo claro en sucio, limpio y barnizado.

Finalmente, es necesario conocer si los colores sufrieron un cambio significativo al someterse a la limpieza considerando los tres atributos del color en conjunto. Para lo cual analizaremos la diferencia de color (ΔE) entre las muestras sucias y limpias y entre las muestras limpias y el barnizado (fig.88).

Nombre	ΔE^* (sucio-limpio)	ΔE^* (limpio-barniz)
1 Azul	25,79	5,31
2 Azul claro	21,42	2,24
3 Carnación clara	19,19	1,79
4 Rojo claro	12,16	6,33
5 Rosa	21,51	5,18
6 Azul oscuro	18,75	2,38
7 Carnación Oscura	8,27	5,42
8 Blanco	28,17	2,29
9 Gris	18,15	3,12
10 Marrón claro caballo	8,05	1,25
11 Rojo oscuro	8,60	3,38
12 Marrón oscuro caballo	4,65	0,54
13 Gris oscuro	13,46	1,30
14 Azul montaña	18,63	8,58
15 Marrón claro suelo	15,18	2,26
16 Negro	0,32	0,32
17 Marrón suelo	13,91	3,85
18 Marrón oscuro suelo	5,65	4,07

Fig. 88. Diferencia de color de las muestras entre sucias y limpias y entre limpias y barnizadas.

- Si el valor de la diferencia de color es próximo a cero ($\Delta E = 0$), no hay cambio alguno en el color.
- Si la diferencia de color es menor de 1 ($\Delta E^* = 1$), se considera poco significativa. (los colores apenas se diferencian), en este caso el único punto que no ha variado visualmente es la muestra 16 de color negro
- Si la diferencia de color se encuentra entre 1 y 5 ($5 > \Delta E^* > 1$) se considera moderada, como sucede con el punto 12 de color marrón oscuro del caballo.
- Si la diferencia de color es mayor que cinco ($\Delta E^* > 5$) se considera bastante significativa, como sucede tras la limpieza en la mayoría de los puntos. Sin embargo, una vez barnizada la obra, la variación de los colores es poco significativa o moderada.

Los puntos con tonalidades más claras, como el blanco, carnación clara, rosa o azules, presentan una diferencia entre 18 y 29 unidades CIELAB, que coinciden con los colores que a simple vista parecen más limpios. En este caso el color que más ha variado es el color blanco con una diferencia $\Delta E^*=28,17$ y el que menos es el color negro con una diferencia $\Delta E^*=0,32$

Donde mejor se aprecian los cambios producidos por la limpieza y el barnizado es en las gráficas de diferencia de color entre los colores sucios y limpios y entre los colores limpios y barnizados. En la primera gráfica (Fig.89) se ha advertido que el color que más variación ha sufrido es el blanco y el que menos el negro. En la segunda gráfica (Fig.90) el cambio sufrido por los colores es menor, en este caso el color que más ha variado es el azul montaña, mientras que el que menos lo ha hecho ha sido el color negro.

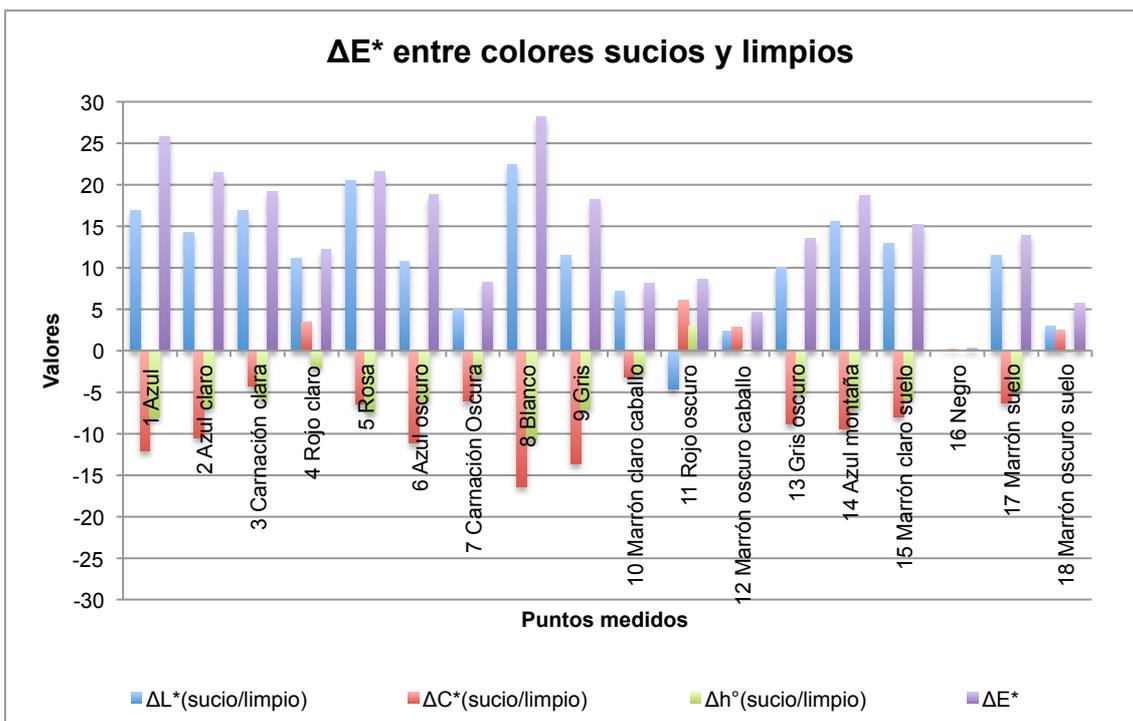


Fig. 89 Diferencia de color entre puntos sucios y limpios.

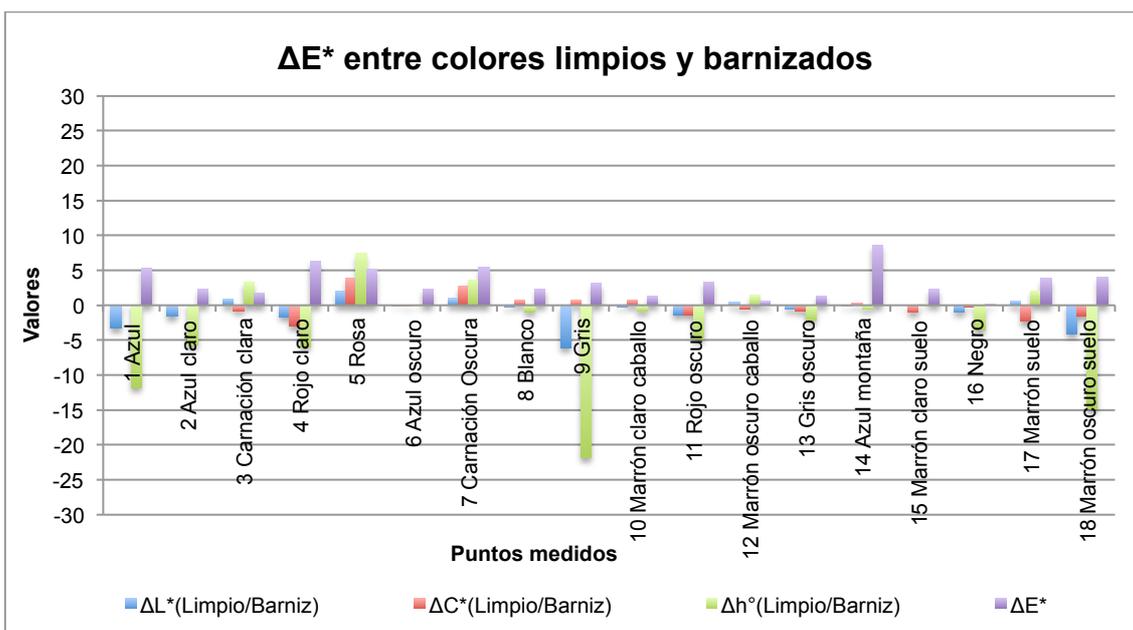


Fig. 90 Diferencia de color entre puntos limpios y barnizados.

4.3.2 De los resultados de la limpieza virtual

Tras corregir la fotografía inicial del cuadro “Un Garrochista” se ha advertido que la suciedad y el barniz envejecido no permitían realizar una buena lectura de la obra. Sin embargo, una vez que se ha limpiado virtualmente, los colores han aumentado su intensidad y luminosidad (fig.91 y fig.92).



Fig. 91 Imagen del estado inicial del cuadro “Un Garrochista”. Fig. 92 Imagen del cuadro tras la limpieza virtual

Si comparamos la imagen de la limpieza virtual y la imagen de la obra ya limpia y barnizada se nota que la tonalidad de los colores es semejante, aunque todavía persiste un cierto amarilleamiento. Esto es porque la suciedad y el barniz envejecido que presentaba la obra formaba una capa poco homogénea, tenía diferentes grosores con zonas más amarillentas que otras. Por lo que, después del tratamiento de limpieza virtual del cuadro, estas zonas también han quedado más amarillentas que otras (fig.93 y 94).

Por otro lado, la imagen resultante tras la limpieza virtual no es tan luminosa como la imagen final del cuadro limpio y barnizado, lo que hace que parezca más plana y que se pierdan detalles. Esto es debido a que cuando se ha realizado la limpieza virtual, no se ha eliminado la capa de suciedad como en una limpieza al uso, sino que se han transformado los valores colorimétricos de la imagen inicial a los valores de los colores limpios. Por lo que, los detalles que salen a la luz cuando eliminamos la capa de suciedad físicamente, no aparecen cuando realizamos la limpieza virtual.



Fig. 93 Imagen del cuadro tras la limpieza virtual. Fig.94. Imagen final del cuadro limpio y barnizado.

5. CONCLUSIONES

Para terminar se exponen las conclusiones siguiendo los objetivos propuestos en este Trabajo Fin de Máster, comenzaremos por el objetivo principal, el cual era el siguiente:

- Aplicar técnicas y procedimientos para la creación de modelos virtuales utilizando herramientas informáticas específicas que faciliten las operaciones de restauración de las obras de arte.

Con respecto al procedimiento de las mediciones colorimétricas, se ha advertido que los colores de los puntos muestra elegidos para el registro colorimétrico del cuadro cambiaron después de la limpieza y del barnizado. Por un lado, disminuyó el amarilleamiento general que presentaba la pintura y por el otro aumentó su luminosidad. Esto nos indica que la obra estaba recubierta por una película de suciedad y de barniz bastante densa y amarillenta. Después del barnizado todos los colores se volvieron más intensos, incluso oscurecieron un poco, debido a que tras la limpieza los colores pasmaron, pero una vez que se barnizaron volvieron a sus tonos originales. De este modo concluimos que se trata de una herramienta eficaz para llevar un control de los cambios que se van produciendo en el transcurso de la limpieza y barnizado de la obra.

En cuanto a la limpieza virtual del cuadro, se ha conseguido eliminar gran parte de amarilleamiento general que poseía el cuadro, aumentando su luminosidad y la intensidad de los colores, pero consideramos que este método todavía necesita perfeccionarse, puesto que la imagen resultante sigue estando amarillenta.

Debemos hacer hincapié en la necesidad de mantener un máximo control durante todos los procesos. En primer lugar debemos realizar las fotografías del cuadro, tanto la inicial como la final, exactamente con los mismos parámetros, utilizando la carta de color en cada toma. De igual manera, debemos realizar las medidas colorimétricas sin variar los parámetros del espectrofotómetro en las diferentes fases de limpieza del cuadro. Para ello debemos ser ordenados, apuntando en cada momento cual es el punto medido y si se ha cometido algún fallo durante la medida. De esta modo podremos realizar el tratamiento de los datos sin ningún problema.

Durante la proceso de limpieza virtual, procuraremos que los colores de las fotografías sean lo más reales posible corrigiendo los valores colorimétricos de la carta de color.

Si somos ordenados y rigurosos con nuestro trabajo el resultado de la limpieza virtual será lo más real posible.

En conclusión, creemos que la limpieza virtual de las obras de arte es un proceso adecuado para obtener una imagen previa del resultado de la restauración. Por ejemplo, en los casos de obras importantes o de gran devoción es muy importante poder mostrar a los feligreses los cambios que va a sufrir su pintura o su imagen debido a que puede que los resultados no sean entendidos por la comunidad. La tarea de eliminación de la suciedad y del barniz envejecido en las restauraciones es totalmente irreversible, por lo que si realizamos una limpieza demasiado agresiva o el resultado no es el esperado, no podemos dar marcha atrás.

Por último valoraremos los objetivos específicos siendo los siguientes:

- Conocer las diferentes técnicas de restauración virtual empleadas hasta la actualidad:

Tras una exhaustiva búsqueda de información sobre restauración virtual, se ha advertido que existen variadas técnicas que tienen por objeto realizar la mínima intervención, dando más importancia a la conservación y puesta en valor de la obra. Se ha podido comprobar que es en el campo de la arqueología donde más se emplean dichas técnicas. Puesto que, mediante esta herramienta, es posible realizar reconstrucciones virtuales de las partes perdidas de piezas muy frágiles, con el objeto de entender mejor cómo eran y cuál era su utilidad.

- Valorar la utilidad, precisión y efectividad de las simulaciones virtuales.

Como se ha podido observar, las nuevas tecnologías nos ofrecen un gran número de ventajas, por ejemplo, la posibilidad de ver los resultados de las intervenciones antes de realizarlas o la capacidad de reconstruir partes perdidas de las obras mediante un método respetuoso, reversible y modificable. Esto hace que las nuevas tecnologías sean de gran ayuda para los restauradores y conservadores. Pero existe el inconveniente de caer en falso histórico, porque con estas herramientas es muy fácil dar rienda suelta a la imaginación. En este caso es preciso trabajar con rigor y suficiente información sobre el bien.

6. BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, R.M; JIMÉNEZ, V.B. *Iluminación y Color*, Valencia: Universitat Politècnica de València, 1995.

ARQUILLO AVILÉS, D. *La Limpieza Virtual*, Lleida: ICOM. En Actas XIII Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. 2000

BERNARDI, D.; FURFERI, R. *Restauro virtuale. Tra ideologia e metodologia*, Florencia: Edifir. 2007. ISBN: 978-88-7970-339-0

BLANCO-MORENO PÉREZ, F. *Corrección, adaptación y tratamiento digital de las pinturas murales de Antonio Palomino, presentes en la bóveda de la Real Parroquia de Santos Juanes de Valencia*. [Tesina fin de máster]. Valencia: Universitat Politècnica de València. 2007.

BLANCO-MORENO PÉREZ, F. *Reconstrucción de pintura mural mediante impresión directa con sistemas Ink-jet robotizados*. [Tesis doctoral]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2014.

CANO, E. Fondo para un Caballero. En: *Vimeo* [documental]. España: Vimeo, Inc, 2010. [consulta: 2018-07-04]. Disponible en: < <http://www.fondoparauncaballero.com/index.html> >

CAMPOS ACOSTA, J. *La especificación del color: Espacios de representación del color*, Madrid: Instituto de Física Aplicada (CSIC).

COLOMINA SUBIELA, A. *Soluciones virtuales de limpieza y reintegración cromática aplicadas a obras pictóricas: Intervenciones estéticas con Adobe Photoshop*. [Proyecto de Investigación]. Valencia: Universitat Politècnica de València. 2001.

DE LA ROJA, J. M. *Sistema de reintegración cromática asistido por medios transferibles obtenidos por procedimientos fotomecánicos. Aplicación en la restauración de pintura de caballete*. [Tesis doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. 2004

ESCRIVA ESTEVAN, F; MADRID GARCÍA, J.A. *El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio*, Arché Publicación del Instituto Universitario de restauración del patrimonio de la UPV. Nums 4 y 5. 2010.

GÓMEZ ROBLES, L; QUIROSA GARCÍA, V. *La restauración virtual: teoría y práctica*, AACADigital: Revista de la Asociación Aragonesa de Críticos de Arte, N°. 3, 2008. ISSN-e 1988-5180.

GÓMEZ ROBLES, L. QUIROSA GARCÍA, V. *Nuevas tecnologías para difundir el patrimonio cultural: las reconstrucciones virtuales en España*. Revista Electrónica de Patrimonio Histórico. 2009. [en línea]. Disponible en: <http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero4/estudiosgenerales/estudios/articulo.php>

GONZÁLEZ LÓPEZ, M.J., MARTÍNEZ CALVO, V. *Reintegración virtual de lagunas. Las pinturas de la Sala de los Reyes de la Alhambra de Granada*. Revista ph. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico nº 70. 2009. Págs. 98-113.

MARTÍNEZ BAZÁN, M.L. *Colorimetría aplicada al campo de la conservación y restauración*, Valencia: Universitat Politècnica de València, 2007.

MARTÍNEZ BAZÁN, M.L. *Determinación de los colores existentes en la decoración al fresco ejecutada por A. Palomino en un fragmento de la nave central de la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia*. [Tesis doctoral]. Valencia: Universidad Politècnica de Valencia. 1999 ISBN: 84-699-3405-8

PORTALÉS RICART, C. *Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte*. [Tesis doctoral]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2008. pp. 359-375. DOI: 10.4995/Thesis/10251/3402..

PORTILLA ROMERO, C. *Mapping como alternativa a la reintegración. El Ábside de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia*. [Tesina fin de máster]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2016. <http://hdl.handle.net/10251/74409>.

PUYUELO CAZORLA, M. et al. *De la representación a la experiencia. Realidad Aumentada para la interpretación del patrimonio monumental de la Lonja de Valencia*. EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, nº.26, 2015, pp.180-189, ISSN 2254-6103, DOI:<https://doi.org/10.4995/ega.2015.4051>.

RASCÓN MARQUÉS. S, SÁNCHEZ MONTES. A.L. *Las nuevas tecnologías aplicadas a la didáctica del patrimonio*. Pulso nº 31, 2008. pp. 67-92. ISSN: 1577-0338

REGIDOR ROS, J.L. et al. *Transferencia de impresiones ink jet, una herramienta para la reconstrucción de faltante*. En: ARCHÉ. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV. Universitat Politècnica de València. nº 2, 2008, pp. 33-42

ROIG PICAZO, P; BOSCH REIG, I. (1999) "*Restauración de la Pintura Mural Aplicada a la Basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia*". Valencia: Universidad Politècnica de Valencia. Servicio de Publicaciones, 1999.

RODRÍGUEZ SILGO. A. *Digitalización y virtualización del patrimonio cultural*. Revista TELOS (Cuadernos de Comunicación e Innovación). Octubre 2015 - Enero 2016, pp. 1-8 . ISSN: 0213-084X

ROY S. BERNIS. *Rejuvenating Seurat's Palette Using Color and Imaging Science: A Simulation*. Color Research & Application, Volumen 31, Edición 4, 2006, pp. 214–227,.

RUIZ TORRES. D. *Realidad aumentada y Patrimonio Cultural: nuevas perspectivas para el conocimiento y la difusión del objeto cultural*. e-rph N° 8, 2011. ISSN-e: 1988-7213.

SALA FRANCÉS, E. *Gramática del Color*. Valencia: Alfons El Magnanim. 1999.

SALINAS NOLASCO, M.F; HATCHONDO ROUX, F. *Evaluación del proceso de limpieza del lienzo de Cuauhquechollan a través de mediciones colorimétricas*. Conserva N° 9. 2005. pp. 43-58.

SAN JOSÉ ALONSO, J. *Restauración real, restauración virtual. Los templos de Santa María de Valbuena, en San Bernardo y de San Andrés en Mahamud*. Biblioteca: estudio e investigación, n° 25, 2010, pp.187-204. ISSN: 1132-225X

TORREGROSA VERDEJO, M. *Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de València*. [Tesina fin de máster]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2016. <http://hdl.handle.net/10251/74315>.

VALCÁRCEL ANDRÉS. J.C. et al. *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 Gandia*. En: ARCHÉ. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV. Universitat Politècnica de València. núms. 4 y 5. 2010.

VISEDO PEÑALVER et al. *El color aplicado a los procesos digitalizados y electrónicos de reintegración pictórica como uno de los apartados referentes a la conservación y restauración de obras de arte*. Jarandilla de la Vera (Cáceres) España: IV Congreso Nacional de Color, 1997.

WALSH, C. *A light touch for Rothko murals*. Ed. Harvard Gazette. 2014. [Consulta: 2017-12-07]. En: <https://news.harvard.edu/gazette/story/2014/05/a-light-touch-for-rothko-murals/>

7. ÍNDICE DE IMÁGENES

- Fig. 1 Retrato de “El caballero con la mano en el pecho” antes y después de la restauración. [Consulta: 2018-07-04] Disponible en:
<<http://www.fondoparauncaballero.com/index.html>>7
- Fig. 2 Detalle de la firma de El Greco antes y después de la restauración. [Consulta: 2018-07-04] Disponible en: <<http://www.fondoparauncaballero.com/index.html>>7
- Fig. 3 Proceso de reconstrucción manual. izq. Proceso de reconstrucción digital. dcha
BLANCO-MORENO PÉREZ, FJ. Reconstrucción de pintura mural mediante impresión directa con sistemas Ink-jet robotizados. [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2014, p. 1578
- Fig. 4 Reconstrucción generada por imagen impresa digital. TORREGROSA VERDEJO, M. Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de Valencia. [Trabajo Fin de Máster] Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016. pp. 44 y 478
- Fig. 5 Restauración virtual de escultura. [Consulta: 2018-2-9].Disponible en:
<<https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/2015/01/20/restauracion-virtual-de-escultura-fotogrametria-y-diseno-3d-al-servicio-del-patrimonio/>>.....9
- Fig. 6 Teatro romano de Mérida izq. y su reconstrucción virtual dcha. [Consulta: 2018-2-8]. Disponible en:< <http://www.e-activo.org/wp-content/uploads/2013/11/Teatro-romano-de-Me%CC%81rida-Badajoz.jpg>> y
<https://revistadehistoria.es/wpcontent/uploads/2016/06/Teatro_Romano_de_M%C3%A9rida_reconstruccion.jpg>9
- Fig. 7 Comparación entre el estado original de la fotografía y el resultado tras la restauración. [Consulta: 2017-12-11]. Disponible en:
<<http://www.epocasphoto.com/epocas/index.php/restauracion-foto>> 13
- Fig. 8 y 9. Programa de ordenador y proyector que iluminan los murales de Rothko. WALSH,C. (2014): A light touch for Rothko murals, Ed. Harvard Gazette. 2014. [Consulta: 2017-12-07]. Disponible en:<<https://news.harvard.edu/gazette/story/2014/05/a-light-touch-for-rothko-murals/>>..... 14
- Fig. 10 y 11 Detalle de La Grande Jatte antes del rejuvenecimiento digital (izq.) y después (dcha.) ROY S. BERNS. Rejuvenating Seurat’s Palette Using Color and Imaging Science: A Simulation. Color Research & Application, 2006. Volumen 31, Edición 4, p. 219..... 15

- Fig. 12. Antigua fotografía de la bóveda. Fig.13. Escáner del interior de la Iglesia.
 Fig.14. Software de georeferencia. [Consulta: 2017-10-16] Disponible en: <http://www.arsuspaper.com/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=82&lang=es>16
- Fig. 15 y 16 Aplicación de color a la imagen en blanco y negro. [Consulta: 2017-10-16] Disponible en: <http://www.arsuspaper.com/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=82&lang=es>17
- Fig. 17 Coloreado de la imagen de referencia. PORTILLA ROMERO, C. “Mapping como alternativa a la reintegración. El Ábside de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia”. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016. p.3218
- Fig. 18 Ajuste de la imagen a la estructura. PORTILLA ROMERO, C. Mapping como alternativa a la reintegración. El Ábside de la Real Parroquia de los Santos Juanes de Valencia. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016. p.3618
- Fig. 19 Tratamiento de la imagen en el programa Adobe Photoshop. TORREGROSA VERDEJO, M. Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de Valencia. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016. p. 4219
- Fig. 20 Proceso de adhesión de la imagen al soporte. Fig.21 Reintegración manual de la zona blanca intermedia. TORREGROSA VERDEJO, M. Transferencias Ink-jet: Aplicación práctica en la Iglesia de San Nicolás de Valencia. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016. pp. 45 y 46..20
- Fig. 22 y 23 Estado actual de la capilla y su recreación virtual. SAN JOSÉ ALONSO, J. Restauración real, restauración virtual. Los templos de Santa María de Valbuena, en San Bernardo y de San Andrés en Mahamud. Biblioteca : estudio e investigación, 2010, nº 25, p. 204.22
- Fig. 24 Retablo de plata desaparecido. PORTALÉS RICART, C. “Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte. Universitat Politècnica de València”, [Tesis doctoral], 2008, p. 36223
- Fig. 25 Modelo 3D de la bóveda barroca obtenido con un láser escáner terrestre. PORTALÉS RICART, C. “Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte”. [Tesis doctoral], Universitat Politècnica de València, Valencia, 2008, p.362..24

Fig. 26. Imagen real de la capilla mayor en la actualidad. Fig. 27 Imagen aumentada mostrada en las gafas de Realidad Aumentada. PORTALÉS RICART, C. "Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte". [Tesis doctoral], Universitat Politècnica de València, Valencia, 2008, p.368.	24
Fig. 28, 29 y 30 Marca de la tracería del ventanal y manejo de la aplicación por el usuario. PUYUELO CAZORLA, M. et al. De la representación a la experiencia. Realidad Aumentada para la interpretación del patrimonio monumental de la Lonja de Valencia. EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, nº. 26, p.182	25
Fig. 31 Vista general del cuadro "Un Garrochista"	26
Fig. 32 Reverso del cuadro.	27
Fig. 33 Vista general de bastidor, Fig. 34. Detalle de la unión entre listones y orificios de insectos xilófagos, Fig.35.Detalle de agujeros del anclaje.	28
Fig. 36 y 37 Numeración encontrada en los listones del bastidor.....	28
Fig. 38 y 39 Detalle de las tablillas de protección de los bordes del cuadro.....	29
Fig.40 Vista general del cuadro. Fig.41 Papel de color marrón. Fig.42 Línea de pérdida de película pictórica.	30
Fig.43 Detalle de marca perimetral	30
Fig. 44 Fotografía con luz infrarroja. Fig. 45 Fotografía con luz ultravioleta, podemos apreciar un repinte en la parte inferior derecha.	31
Fig. 46 Detalle del barniz amarillento.....	31
Fig. 47 Fotografiado del cuadro con carta de color.....	33
Fig. 48 Diferencia de saturación del color rojo. [Consulta: 2018-05-07] Disponible en: < http://proyectacolor.cl/teoria-de-los-colores/propiedades-de-los-colores/#luminosidad >	34
Fig. 49 Diferencia de luminosidad. [Consulta: 2018-05-07] Disponible en: < http://proyectacolor.cl/teoria-de-los-colores/propiedades-de-los-colores/#luminosidad >	34

Fig.50 Diagrama cromático x,y. Fig.51 Diferencias en distancia espectral. [Consulta: 2018-05-07] Disponible en: < https://clustergis.wordpress.com/2015/03/28/hipsometria-e-hipsografia-iv/ >	35
Fig. 52 Esquema de las coordenadas L^* , a^* , b^* . [Consulta: 2018-05-07] Disponible en: < https://www.smithersrapra.com/SmithersRapra/media/Testing-Services/Optical-and-Colour.png >	36
Fig. 53 Esquema de las coordenadas L^* , C^* , h^* . [Consulta: 2018-05-07] En: http://1.bp.blogspot.com/_INzlqVMclj8/S88ujqxwyl/AAAAAAAAABvo/DnuVgcJYJtc/s400/Color+identified.jpg	36
Fig.54 Puntos de color muestra del cuadro.	38
Fig. 55 Acetato con líneas más características de la obra. Fig.56 Medida de los puntos de color con espectrofotómetro.	39
Fig. 57 y 58 Test de solubilidad con disolventes acuosos. Fig. 59 Testigo de limpieza.	40
Fig. 60 Test de Cremonesi.	41
Fig.61 Limpieza con gel de Carbopol®	41
Fig.62 Lugar donde se encontraba el repinte	42
Fig.63 Cálculo de medias y desviaciones.	43
Fig.64 Cálculo de las diferencias de color.	44
Fig.65 Nominación cromática.....	44
Fig.66 Diferentes tipos de gráficas.....	45
Fig.67 Herramienta muestra de color. Fig.68 Información RGB del punto seleccionado.	46
Fig.69 Cuadro de dialogo “Curvas”	47
Fig.70 Datos colorimétricos tomados de la carta de color fotografiada izq. y datos colorimétricos de la carta de color Kodak q13 <i>Color Separation Guide</i> dcha.....	47
Fig.71 Cambio de RGB a Lab	48

Fig.72 Creación de una nueva capa con los puntos seleccionados.	49
Fig.73 Toma de muestra de color	49
Fig.74 Herramienta varita mágica.	50
Fig.75 Cuadro de dialogo "Perfeccionar borde"	50
Fig.76 Transformación de los valores L^*a^*b de la nueva capa.....	51
Fig.77 Combinar las capas visibles.....	52
Fig.78 Tabla de los valores L^*	53
Fig.79 Gráfica de los valores L^*	54
Fig.80 Grafica de valores C^* para los puntos sucios, limpios y barnizados.....	55
Fig.81 Grafica de valores h^* para los puntos sucios, limpios y barnizados	55
Fig. 82 Conjunto de coordenadas cromáticas para los 18 puntos registrados; sucios, limpios y barnizados del cuadro "Un Garrochista"	56
Fig. 83 Diagrama general de a^* y b^* de todos los puntos sucios, limpios y barnizados.	57
Fig. 84. Diagrama de las coordenadas a^* y b^* para los puntos azules, grises, blanco y negro.	58
Fig. 85. Diagrama de las coordenadas a^* y b^* para los puntos carnaciones, marrones, rojos y rosa.....	59
Fig. 86 Curvas de la muestra 8 de color blanco en sucio, limpio y barnizado.....	60
Fig. 87 Curvas de la muestra 4 de color rojo claro en sucio, limpio y barnizado.	60
Fig. 88. Diferencia de color de las muestras.....	61
Fig. 89 Diferencia de color entre puntos sucios y limpios.	62
Fig. 90 Diferencia de color entre puntos limpios y barnizados.	62

Fig. 91 Imagen del estado inicial del cuadro “Un Garrochista”. Fig. 92 Imagen del cuadro tras la limpieza virtual63

Fig. 93 Imagen del cuadro tras la limpieza virtual. Fig.94. Imagen final del cuadro limpio y barnizado.64