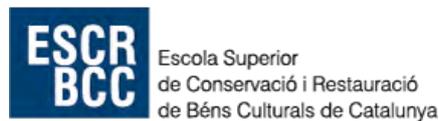


# Proceso de conservación y restauración de un vitral de la Catedral de Solsona mediante método acuoso



<https://doi.org/10.55437/TFG2>

**Autora:** Lucía Ponce Cerezo

**Tutora:** Silvia Marín

Trabajo de Fin de Grado

Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya

**Especialidad:** Bienes Arqueológicos

**Curso:** 2021-2022



## Resumen

El presente trabajo pretende mostrar la intervención realizada sobre un vitral procedente de la Catedral de Solsona (número de catalogación 1882-1). Este vitral presenta una serie de alteraciones en todos los materiales constitutivos (vidrio, plomo, hierro) así como ausencia de vidrio, deformidad y rotura del plomo.

Antes de proceder a la intervención de la obra, se ahonda en el estudio histórico y tipológico del vitral, además, se realiza un exhaustivo examen organoléptico para conocer en profundidad a qué alteraciones nos enfrentamos. Por la complejidad de la intervención, nos decantamos por una metodología eficaz y respetuosa, capaz de remover la corrosión metálica y las concreciones y depósitos más persistentes, siendo a la vez totalmente respetuosa con la obra.

La principal actuación que se hace sobre el vitral 1882-1 es la eliminación de los depósitos superficiales, así como de la corrosión utilizando para ello un proceso acuoso-químico (*buffers* y *buffers* con quelante). Además, se lleva a cabo un proceso de reintegración material y cromático.

**Palabras clave:** Conservación-restauración, vitral, método acuoso, soluciones tampón, geles, quelantes, Catedral de Solsona.

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a todos los compañeros que me ayudaron a realizar el trabajo de conservación y restauración del vitral: Mariona Gràcia, Berta López, Laura Pablo y Júlia Servera. También agradecer la ayuda de Sergi González por los consejos y puestas en común.

Y sobretodo, agradecer a mi tutora del trabajo, Silvia Marín por ayudarme durante todo el proceso de intervención.

## Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.	Justificación y motivación.....	2
1.2.	Estado de la cuestión.....	2
1.3.	Hipótesis y objetivos.....	3
1.4.	Metodología.....	3
1.5.	Temporalidad y plan de trabajo.....	4
2.	BLOQUE TEÓRICO.....	6
2.1.	Contexto histórico y geográfico.....	6
2.2.	El vitral 1882-1 de la Catedral de Solsona.....	6
2.3.	Historia y origen del vidrio.....	8
2.4.	Componentes de un vitral.....	8
2.5.	Degradaciones habituales en vitrales.....	9
2.6.	Principios de la conservación de los vitrales.....	12
2.7.	Técnicas utilizadas en la conservación de los vitrales.....	13
3.	BLOQUE PRÁCTICO.....	16
3.1.	Informe.....	16
3.2.	Examen organoléptico.....	17
3.3.	Análisis físico-químicos.....	23
3.4.	Propuesta de intervención.....	24
3.5.	Intervención de conservación y restauración.....	25
3.6.	Embalaje y condiciones de conservación preventiva.....	33
4.	CONCLUSIONES.....	37
5.	BIBLIOGRAFIA.....	38
6.	ANEXO.....	40

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Justificación y motivación

El vidrio es un material que llama la atención debido a su delicadeza y su belleza. Los vitrales en concreto tienen la característica de contar historias, aunque también pueden servir para decorar un espacio y llenarlo de luz y color. Los colores utilizados en ellos son muy vivos y con la luz incidente provocan un estímulo visual que a mucha gente la deja maravillada.

Este trabajo pretende mostrar el proceso de conservación y restauración de un vitral procedente de la Catedral de Solsona, mediante una técnica de limpieza acuosa que permite devolver esa luminosidad tan característica de los vitrales y causando el mínimo impacto de alteración.

## 1.2. Estado de la cuestión

Los vitrales históricos no han conservado su aspecto original en prácticamente ningún caso. La humedad y las sustancias corrosivas del aire atacan tanto al vidrio como a la pintura y los metales que lo componen. Varios países han intentado dar una solución a la mejor manera de conservar estos vitrales históricos sin dañarlos con el sistema de limpieza o al menos ayudando a que no se deterioren más buscando la mejor manera de hacer una conservación preventiva.

Tal y como se explica en “The conservation and restoration of historical stained and painted glass: an introduction to the problems” de Ivo Rauch, debido a que todos los estados de Europa central (sobretudo Francia, Alemania e Inglaterra) tienen grandes extensiones de vidrieras medievales, se desarrollaron métodos para su limpieza y conservación en todas partes. Surgiendo así diferentes formas y métodos de restauración del vidrio histórico. A finales del siglo pasado se consiguió desarrollar un enfoque común de intervención sobre vitrales para los restauradores. Esto surgió en gran parte debido al Corpus Vitrearum Medii Aevi Internacional, cuyo comité para la restauración de vidrieras redactó directrices para la conservación y restauración de estas por primera vez en 1989, junto con el ICOMOS. Estas directrices fueron reformuladas recientemente en 2004 (*Directives pour la conservation et la restauration des vitraux. Deuxième édition*).

Según Ivo Rauch, diferentes países han desarrollado diferentes métodos de limpieza restaurativa. En Inglaterra, el trabajo se lleva a cabo a menudo con un proceso de abrasión mediante el micro-chorro, en el cual las incrustaciones de corrosión se pueden eliminar con una presión regulada. En cuanto a los restauradores franceses, prefieren eliminar la corrosión químicamente mediante cataplasmas o geles. Sin embargo, en Alemania, existe una preferencia por trabajar con medios mecánicos como los bastoncillos de algodón y/o los bisturís, con el que se eliminan por capas las incrustaciones de corrosión.

En este trabajo nos centraremos en las técnicas de limpieza con procesos químicos ya que los mecánicos resultan en su mayoría perjudiciales para el cristal tal y como se demuestra en el estudio de Römich (*Conservation. Cleaning: a balancing act*).

Para profundizar más en el estudio de sistemas de limpieza mediante procesos acuosos, me guiaré en las teorías aplicadas de la profesora Silvia Marín que nos impartió en clase y que dejó escritas en sus diapositivas, así como en su artículo “Nuevas metodologías para la eliminación de la corrosión en patrimonio metálico arqueológico: buffers, quelantes, geles y emulsiones” donde describe perfectamente la teoría de estos sistemas de limpieza acuoso.

### **1.3. Hipótesis y objetivos**

El principal objetivo del presente trabajo es la conservación y restauración del vitral utilizando unas técnicas de limpieza acuosa que no alteren el material que lo compone. Por ello se pretende hacer lo siguiente:

- Obtener más conocimiento sobre las técnicas de limpieza acuosa y gelificada y su aportación en el campo de la conservación-restauración.
- Eliminar la corrosión y factores de degradación de los materiales que componen el vitral (hierro, plomo y vidrio).
- Probar la funcionalidad del método acuoso controlado sobre una pieza real.

### **1.4. Metodología**

Para poder cumplir los objetivos será necesario seguir dos líneas de trabajo. Por un lado, se ha de hacer una investigación sobre diferentes aspectos relacionados con el vitral y las técnicas de limpieza para así poder llevar a cabo una intervención de conservación y restauración adecuada conociendo el máximo sobre los elementos y características de la pieza a tratar. Los temas a investigar son los siguientes:

- El contexto histórico para situar la pieza.
- Las características de los diversos materiales que componen un vitral.
- Las degradaciones típicas de los vidrios, así como de los metales como el hierro y el plomo.
- Las diferentes técnicas de limpieza utilizadas en los vitrales.

Por otro lado, se ha de actuar sobre la pieza siguiendo un método adecuado de conservación y restauración.

En cuanto al trabajo escrito, las referencias bibliográficas se han hecho siguiendo el sistema Harvard mientras que la citación se ha hecho siguiendo la Normativa UNE-ISO 690.

La documentación se ha hecho mediante la búsqueda de información sobre el vidrio y procesos de limpieza, el examen organoléptico, la ficha de intervención y el uso de programas de dibujo (Illustrator y Photoshop) para crear los mapas de alteración y el cronograma.

La intervención de conservación-restauración ha necesitado de una limpieza se ha hecho mediante el método acuoso con control de pH y conductividad, así como el control de la humedad mediante la gelificación. En cuanto a la reintegración material se ha realizado con una resina epoxi con sistema desmontable, facilitando así la posible extracción de ésta en un futuro.

## 1.5. Temporalidad y plan de trabajo

El trabajo de conservación y restauración del vitral se comenzó en el año 2019 con los estudiantes de tercero de carrera de aquel curso. Ellos se encargaron de hacer las fotografías iniciales y empezaron a quitar el mortero y el óxido del bastidor, así como a limpiar una de las caras del vitral.

Debido al Covid se paró el trabajo en el vitral y se continuó en el año 2021. En enero de 2021 escogí el tema y se me asignó uno de los 2 vitrales que había, en concreto el 1882-1. La intervención sobre el vitral se llevó a cabo entre los meses de febrero y principios de junio del 2021.<sup>1</sup>

Debido a que las fotografías iniciales ya habían sido tomadas en 2019, se empezó con la limpieza superficial y se pudieron hacer los análisis físico-químicos. Este trabajo duró un día en el mes de febrero. En cuanto a la limpieza acuosa (adaptado al material y su alteración), se hizo durante todo el mes de febrero donde los primeros días se combinó con la eliminación de la corrosión del hierro.

Durante el mes de marzo se llevaron a cabo varias acciones: aplanado y corrección de plomos, unión y consolidación de fragmentos; y reintegración material y cromática. Esta última se realizó también durante el mes de mayo. Finalizando con la intervención del vitral, en el mes de mayo se hizo también la consolidación de la masilla.

En junio se hicieron las fotografías finales y se preparó su embalaje para ser llevado de vuelta a Solsona.

Durante la intervención se realizó además la ficha técnica de laboratorio de intervención de la pieza con diversas imágenes, mapas de alteración, análisis y procesos de intervención.

En cuanto a la búsqueda de información para el presente trabajo se buscó sobretodo el mes de febrero, pero también durante el mes de mayo (2021).

Por último, el redactado del actual trabajo comenzó en agosto (2021) y duró hasta mayo de 2022.

Acción	Mes	Año	Días
Elección del tema y la pieza	Enero	2021	2
Limpieza superficial y análisis físico-químicos	Febrero	2021	1
Búsqueda de información	Febrero y Mayo	2021	11
Limpieza acuosa	Febrero y Marzo	2021	7
Eliminación de la corrosión	Febrero	2021	1
Aplanado y corrección de plomos	Marzo	2021	1
Unión y consolidación de fragmentos	Marzo	2021	3

<sup>1</sup> Ver cronograma en anexo (imagen 27).

Pruebas de color	Marzo	2021	2
Reintegración material y cromática	Marzo-Mayo	2021	6
Consolidación de masilla	Mayo	2021	1
Fotografías finales	Junio	2021	1
Embalaje	Junio	2021	1
Redactado de la ficha técnica	Marzo y Junio	2021	6
Redactado del trabajo	Agosto - Diciembre	2021	16
	Enero-Mayo	2022	5
<b>Total</b>			<b>64</b>

*Tabla 1. Cronograma donde se especifica el total de días necesarios para la realización de la intervención y el redactado del trabajo.*

## 2. BLOQUE TEÓRICO

### 2.1. Contexto histórico y geográfico

El vitral pertenece a la Catedral de Solsona. Ésta se encuentra en la ciudad de Solsona, en la provincia de Lérida, Cataluña.

El rey Felipe II pidió a Roma la creación del obispado de Solsona como baluarte de contención. El Papa Clemente VIII accedió a la petición, creando así el obispado de Solsona en el 1593, momento en que la iglesia del antiguo monasterio de canónigos agustinianos se convirtió en catedral. Un año más tarde, Felipe II nombró a Solsona con el título de ciudad.<sup>2</sup>

Solsona sufrió una época decadente en el siglo XIX donde el paso de las tropas napoleónicas (1810) provocó grandes destrozos entre los que se encuentra el incendio de la catedral. Después vino la Primera Guerra Carlina y la Segunda Guerra Carlina; y en el 1854 se produjo una epidemia de cólera.<sup>3</sup> Todos estos sucesos hicieron que la población disminuyese hasta casi mil habitantes. Más tarde, con los sucesos de la Guerra Civil (1936-1939) la Catedral se convirtió en mercado y almacén. En el 1950 se llevó a cabo una restauración en la campaña de “Regions Devastades” y una restauración más reciente de los claustros neoclásicos dejó entrever la forma románica que tenían en el siglo XII.<sup>4</sup>

La ausencia de dinamismo económico también fue observada en que la revolución industrial no repercutió de lleno. Esto hizo que la ciudad no creciera como otros países.<sup>5</sup> La industria que aún se mantenía en la ciudad era de los talleres de cuchillos, aunque también se redujo.

Las circunstancias negativas también llevaron a la supresión del obispado de Solsona. Aún así, Ramón Riu i Cabanes, el administrador apostólico de Solsona (1895-1901) reorganizó las parroquias, mandó restaurar edificios de interés histórico, fundó el Museo Diocesano y Comarcal de Solsona y construyó el Seminario. Todo esto ayudó a que en el 1933 se recuperase el obispado.

### 2.2. El vitral 1882-1 de la Catedral de Solsona

Se encontraron dos vitrales en la Catedral de Solsona, uno de los cuales ha servido para hacer este trabajo. La característica esencial de estos vitrales es que la cara buena y la cara colocación es la misma. No es algo fuera de lo común pero sí que es cierto que estamos acostumbrados a ver la cara buena al lado contrario de la cara colocación.

---

<sup>2</sup> AJUNTAMENT DE SOLSONA. *El bisbat i el títol de ciutat* [En línea]. <<https://www.ajsolsona.cat/la-ciutat/historia-i-tradicio/historia/el-bisbat-i-el-titol-de-ciutat>> [Consulta: 6 noviembre 2021]

<sup>3</sup> AJUNTAMENT DE SOLSONA. *Solsona en les guerres de Catalunya* [En línea]. <<https://www.ajsolsona.cat/la-ciutat/historia-i-tradicio/historia/solsona-en-les-guerres-de-catalunya>> [Consulta: 6 noviembre 2021]

<sup>4</sup> BISBAT DE SOLSONA. *La Catedral: Història de la Catedral de Solsona* [En línea]. <<https://bisbatsolsona.cat/bisbat/catedral/>> [Consulta: 6 noviembre 2021]

<sup>5</sup> AJUNTAMENT DE SOLSONA. *Solsona en el moment present* [En línea]. <<https://www.ajsolsona.cat/la-ciutat/historia-i-tradicio/historia/solsona-en-el-moment-present>> [Consulta: 6 noviembre 2021]

Se trata de un vitral emplomado de estilo ecléctico de 2 composiciones<sup>6</sup>: el motivo central y una decoración alrededor de líneas diagonales alternadas formando una guirnalda. Sus dimensiones rectangulares son de 129 cm x 65 cm x 3,5 cm.



*Imagen 1. Representación colorida del vitral por las dos caras.*

El motivo central está compuesto por una decoración floral en el extremo superior y otra en el extremo inferior de colores rojo y lila. Estas se unen mediante unas líneas delimitantes de colores blanco y verde y en el centro de la unión se encuentra un rombo rojo con las iniciales “P” y “R” pintadas en grisalla en dorado. Alrededor de esta figura compuesta central hay un entramado de cuadrados azules, rectángulos rojos y pequeños cuadrados blancos.

En cuanto a la decoración que enmarca la composición central, se encuentra una distribución de líneas diagonales alternadas de color rojo y verde y en cada una de las 4 esquinas hay una ciba azul. En la zona superior está la palabra “año” y en la zona inferior el número “1882”. Por último, una serie de rectángulos naranjas enmarcan todas estas decoraciones.

<sup>6</sup> Ver más detallado en las imágenes 28 y 29 de los anexos.

### 2.3. Historia y origen del vidrio

Tal y como cuenta Plinio el Viejo en su obra “Historia Natural” (libro XXXVI), el descubrimiento del vidrio fue gracias a unos mercaderes fenicios de natrón (sosa) y tuvo lugar en Siria. Mientras estos mercaderes hacían la ruta hacia Egipto, pararon a comer y utilizaron el natrón como soporte para las ollas. La arena de la playa debajo del fuego se derritió y corrió en un chorro líquido que se enfrió y endureció hasta convertirse en un material brillante de aspecto pétreo<sup>7</sup>. Aunque esta historia sea interesante, no es posible ya que un fuego para cocinar no llega a alcanzar la temperatura de fusión necesaria.

Se han encontrado cuentas de vidrio datadas en el tercer milenio antes de Cristo. Pero fue a finales de la Edad de Bronce (1600 a 1200 a.C.) cuando el uso del vidrio creció sobretodo en Egipto, Micenas y Mesopotamia.

A diferencia de hoy, el vidrio de aquellos tiempos a menudo era opaco y saturado de color, y la fuente de sílice eran guijarros de cuarzo triturados, no arena. Descubrieron cómo reducir la temperatura de fusión del cuarzo triturado a lo que podría alcanzarse en los hornos de aquellos tiempos. Utilizaron la ceniza de las plantas del desierto, las cuales contienen unos altos niveles de sales como carbonato de sodio o bicarbonatos, así como cal (óxido de calcio) lo que hace al vidrio más estable<sup>8</sup>.

La producción de vidrio se desarrolló en el Imperio Romano y desde Italia se extendió a todos los países bajo su dominio. Las primeras vidrieras fueron utilizadas en los hogares de los romanos más adinerados en el siglo I d.C. Aunque fue durante el Gótico que los vitrales tomaron su máximo esplendor y se utilizaron en las catedrales de Europa. Las más importantes se encuentran en las catedrales de Chartres (s. XIII) y de Conterbury (s. XIV)<sup>9</sup>.

### 2.4. Componentes de un vitral

Las vidrieras tradicionales occidentales están formadas por cuatro materiales principales: el vidrio, el plomo, el hierro y, según el caso, pinturas (fundibles, esmaltes o grisallas) sobre el vidrio.

El vidrio es el material más importante ya que define la esencia de la vidriera. Para hacerlo se ha de mezclar potasio y arena entre 1.600 y 1.650°C. A ello hay que añadir polvos de óxido de metal para crear diferentes colores. Luego se aplana el vidrio en láminas mientras el vidrio está aún en un estado flexible.

El vidrio a veces se detallaba con una pintura especial hecha de vidrio esmerilado (molido) y limaduras de hierro suspendidas en orina o vino. Esta mezcla consigue

---

<sup>7</sup> ROMANI VITRUM. *Sobre la industria del vidrio según Plinio el Viejo* [En línea]. <<https://romanivitrum.wordpress.com/2016/10/14/sobre-la-industria-del-vidrio-segun-plinio-el-viejo/>> [Consulta: 5 febrero 2022]

<sup>8</sup> SMITHSONIAN MAGAZINE. *A brief scientific history of glass* [En línea]. <<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/a-brief-scientific-history-of-glass-180979117/>> [Consulta: 5 febrero 2022]

<sup>9</sup> HISTORY OF GLASS. *History of glass* [En línea]. <<http://www.historyofglass.com/>> [Consulta: 5 febrero 2022]

bloquear la luz, definiendo así los diseños<sup>10</sup>. Estas pinturas fundibles se aplican opcionalmente sobre la superficie del vidrio. Estos vidrios pintados son horneados posteriormente a una temperatura entre 580 y 630°C consiguiendo así las grisallas, amarillos de plata, carnaciones o esmaltes cocidos<sup>11</sup>.

Por último, está el plomo, donde los perfiles en forma de H (tortas) han sido el material utilizado por excelencia para la sujeción y separación entre los vidrios. Estos perfiles se sueldan entre sí formando paneles y finalmente se ponen en un marco de hierro (armadura).

## 2.5. Degradaciones habituales en vitrales

Las alteraciones más visibles de los vidrios son debido a fenómenos mecánicos, choques, deformaciones de las armaduras metálicas o del plomo. Además, los vidrios padecen alteraciones químicas debidas a su composición y a las agresiones provocadas por el ambiente<sup>12</sup>.

El vidrio es un material hecho de dióxido de sílice que se caracteriza por sus átomos desordenados. En el cuarzo cristalino, los átomos están fijados en posiciones regularmente espaciadas en un patrón repetitivo. Pero en el vidrio, los mismos bloques de construcción, un átomo de silicio asociado con oxígenos, están dispuestos al revés, es decir, el vidrio está formado por una estructura amorfa (no cristalina).

El vidrio puede degradarse especialmente en condiciones húmedas. Los objetos de las antiguas tumbas y pueblos de Egipto han durado milenios, ayudados por el entorno de conservación casi ideal del desierto. En cambio, el vidrio del Cercano oriente de las tumbas en las llanuras aluviales de Mesopotamia, se mantuvo más en contacto con el agua, la cual puede filtrar compuestos estabilizadores y convertir el vidrio en polvo escamoso<sup>13</sup>.

Las vidrieras históricas son extremadamente frágiles y es por ello que se han sustituido usualmente y reparado con vidrios nuevos. A esto hay que sumar también los cambios de emplomados ya que el plomo se aproxima a los 120 años de vida útil por agotamiento de su ductilidad en los ciclos de estiramiento por dilataciones térmicas<sup>14</sup>.

Las causas que producen la alteración y degradación de los vidrios pueden ser intrínsecas (propias del material) o extrínsecas (ajenas a él).

---

<sup>10</sup> AMERICAN VISION WINDOWS. *How stained glass windows were made* [En línea]. <<https://www.americanvisionwindows.com/the-history-of-stained-glass-windows/>> [Consulta: 13 febrero 2021]

<sup>11</sup> CORTÉS PIZANO, F. “El plomo en las vidrieras históricas: características, deterioro y conservación”. MINISTERIO DE CULTURA. *En La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. ISBN 978-84-8181-461-3

<sup>12</sup> MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION. *Manuel de conservation, restauration et création de vitraux*. Paris: 2006, p. 10- 12. ISBN 2-11-094665-2.

<sup>13</sup> SMITHSONIAN MAGAZINE. *A brief scientific history of glass* [En línea]. <<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/a-brief-scientific-history-of-glass-180979117/>> [Consulta: 5 febrero 2022]

<sup>14</sup> REPRESA BERMEJO, I. “La estética de las vidrieras y de su degradación”. En: THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE. *Conservación de vidrieras históricas. Análisis y diagnóstico de su deterioro. Restauración*. Santander: 1994, p. 55-71. ISBN 0-89236-492-0

## **A. Causas intrínsecas**

Son las más importantes ya que forman la principal fuente de los mecanismos de degradación de los vidrios. El factor más importante en este tipo de causas de alteración es la composición química del vidrio. El conocimiento de su composición química aporta información sobre el tipo de vidrio, la época y lugar de fabricación, el mecanismo y la intensidad del ataque químico, la naturaleza de los depósitos formados, los tratamientos de limpieza y de protección que se ha de utilizar y eventualmente la reproducción de piezas para la reposición.

Se ha demostrado que el vidrio se puede conservar adecuadamente cuando la suma de los porcentajes de óxidos formadores del vidrio (óxidos de sílice, aluminio y fósforo) es superior al 60% en peso. Por debajo de este valor, el vidrio es erosionado por los medios atmosféricos y la contaminación ambiental, lo que facilita la aparición en superficie de picaduras, cráteres, costras de corrosión, depósitos, etc<sup>15</sup>.

Por otro lado, es muy importante el porcentaje y naturaleza de los óxidos alcalinos en el vidrio ya que más del 20% en peso producen vidrios inestables. También hay que considerar que, en cuanto al tipo de óxidos alcalinos, el vidrio potásico (como el medieval) es mucho menos resistente que el vidrio sódico como el romano o el moderno (Fernández 1996:12).

## **B. Causas extrínsecas**

### **B.2. Causas físicas**

Debido a la fragilidad del vidrio, éste puede fracturarse fácilmente por impactos, por vibraciones, por actos vandálicos, por ventadas, por tensiones, por dilatación térmica, por deformación de la estructura metálica o por manipulaciones<sup>16</sup>. Las microfisuras se originan en la superficie por pequeñas lesiones debidas a la abrasión, tensiones térmicas, diferencias de contracción en zonas de diferente composición, etc. Cuando se crea una fisura y el vidrio interacciona con la atmósfera, disminuye su resistencia mecánica y cualquier esfuerzo mecánico se concentra en el vértice de la grieta donde se inicia y propaga la rotura.

### **B.1. Causas químicas**

La superficie del vidrio debido a su baja porosidad es bastante resistente a la agresión de agentes químicos. En cambio, cuando el ambiente es húmedo puede empezar a deteriorarse de manera más o menos grave según el pH del ambiente, el porcentaje de la humedad relativa, la temperatura, etc.

La degradación química se encuentra sobretodo en la cara externa de los vitrales debido a la progresiva meteorización durante un largo tiempo sumado a la contaminación

---

<sup>15</sup> FERNANDEZ, J.M. Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC: Madrid, 1996, p. 12.

<sup>16</sup> FERNANDEZ, J.M. Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC: Madrid, 1996, p. 11.

atmosférica<sup>17</sup>. Esto ocurre cuando la superficie del vidrio se hidrata y forma una capa de gel de sílice donde se disuelven gases contaminantes de la atmosfera (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.). Cuando estos gases entran en contacto con la humedad acidifican el ambiente, haciendo que los iones H<sup>+</sup> de estos ácidos penetren en el vidrio.

En una segunda etapa, los iones H<sup>+</sup> se intercambian con los iones alcalinos del vidrio en las capas más externas, formándose una desalcalinización superficial y el medio cercano al vidrio se enriquece en iones alcalinos y en iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) que primero neutralizan para luego aumentar el pH hasta valores básicos.

En la última etapa comienza el proceso de destrucción de la red polimérica del vidrio. Con un pH básico el ataque es muy peligroso ya que se destruyen las uniones de la Sílice con el Oxígeno (Si-O-Si) son destruidas por los iones OH<sup>-</sup>, dejando puntos de discontinuidad en la red vítrea (Si-O<sup>-</sup>). Esta red queda cada vez más abierta, permitiendo así una mejor entrada de moléculas de agua, así como de iones hidronio y iones hidroxilo, los cuales agravan la degradación del vidrio<sup>18</sup>.

En los cráteres del vidrio se van depositando los productos de la corrosión los cuales acaban formando una capa uniforme o costra de corrosión porosa que no impide que la degradación continúe en profundidad. Como consecuencia de esto, hay una disminución del espesor original del vidrio, pérdida de transparencia y un enmascaramiento de los colores. Los compuestos más comunes que se forman en las costras de corrosión son la sílice hidratada (gel de sílice), sulfatos de calcio (yeso, singenita) y carbonato de calcio.

En cuanto a la cara interior de las vidrieras no suelen presentar tanta alteración ya que se ha mantenido protegida de los agentes contaminantes. Aún así, presenta alteraciones causadas por los residuos de productos de limpieza, la concentración de personas, las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior, la humedad, etc.

El deterioro óptico también forma parte de las causas químicas. Se trata de una alteración sufrida por vidrios que contienen óxido de manganeso y que se encuentran expuestos a la luz durante un largo periodo (fotooxidación). Este se puede encontrar en 3 estados de oxidación: Mn<sup>2+</sup> (incoloro), Mn<sup>3+</sup> (de rosa a violeta) y Mn<sup>4+</sup> (de marrón a negro)<sup>19</sup>.

### **B.3. Causas biológicas**

Las condiciones ambientales como la temperatura y la humedad, así como la orientación que puedan tener las vidrieras, pueden favorecer al asentamiento de hongos, líquenes y algas.

En las superficies internas de las vidrieras, la corrosión por picaduras se produce debido a la condensación del desarrollo de microorganismos. Estas picaduras pueden contener sales, hidróxidos, bacterias, polvo, etc. Cuando la biodegradación se produce en superficies decoradas con capas pictóricas con aglutinantes orgánicos, se considera grave ya que favorece el desarrollo de microorganismos.

---

<sup>17</sup> FERNANDEZ, J.M. *Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección*. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC: Madrid, 1996, p. 12.

<sup>18</sup> GARCÍA, M. y VILLEGAS, M.A. *Notas para el estudio científico del vidrio antiguo*. Universidad de Salamanca: Zephyrus, 57, 2004, p. 385-386.

<sup>19</sup> VILLEGAS, M.A. y DURÁN, J.A. *Procesos de alteración y conservación de la escultura en vidrio. Geconservación*, 17: 2020, p. 128-129. ISSN 1989-8568.

En la cara externa el problema lo causan las algas, líquenes y musgos que combinados con grandes porcentajes de humedad atacan al vidrio y retienen el agua, intensificando el deterioro químico. Por otro lado, los microorganismos desarrollan su actividad biológica provocando el consumo progresivo de iones de potasio, magnesio y calcio y a su degradación. Su actividad metabólica da lugar a un cambio del pH en la superficie del vidrio y se generan unos pigmentos que alteran la estética.

## **2.6. Principios de la conservación de los vitrales**

Las normas en cuanto a la conservación y restauración de vidrio se inspiran en las directrices del Corpus Vitrearum<sup>20</sup> y del Comité Científico Internacional sobre el vitral del ICOMOS, donde a continuación se cita un extracto:

“El valor intrínseco de un vitral es igual al de cualquier otra obra de arte o monumento patrimonial, y, por consiguiente, su conservación necesita el mismo nivel de atención y profesionalidad, sin tener en cuenta su época o su valor. Un vidrio de vitral no puede extraerse de un ambiente. Su contexto histórico y material comprende su cuadro arquitectónico, debe tenerse en cuenta en la planificación y la realización de toda operación de conservación. La conservación de los vitrales implica la colaboración dentro de un equipo multidisciplinario de especialistas donde se encuentran restauradores cualificados y experimentados, historiadores del arte, arquitectos, científicos, etc.

### **Principios deontológicos**

La conservación y restauración implica que se haga lo posible por conservar la integridad de la obra antigua con sus elementos, su composición y en su lugar.

- Composición general: el desplazamiento de vidrieras dentro de un mismo edificio sólo será respaldado si hay una investigación histórica siempre y cuando no implique cortar vidrios viejos para volver a medirlos
- Respetar la obra y su historia: se han de conservar el máximo de elementos antiguos, piezas de vidrio y red de plomos.
- Complementos de zonas con laguna: en caso de lagunas hay que hacer una buena búsqueda histórica. Si se decide seguir adelante la integración visual ha de ser buena tanto en la escala de las piezas, como en los colores y valores. La legibilidad de la reintegración deberá permanecer con un equilibrio en la estética total. Si una pieza tiene ausencia de grisalla, de ninguna de las maneras se repintará ni recocerá la pieza. Sin embargo, si la brecha es muy molesta, se podrá intentar hacer una reintegración pictórica.

### **Conservación preventiva**

Los vitrales, debido a su valor histórico, estético o técnico, así como debido a su fragilidad, deberán ser protegidos de los impactos y de las agresiones del medio ambiente. Estas protecciones dependerán del objetivo:

- Vallas de protección contra impactos (vandalismo, proyectiles, aves, etc.)

---

<sup>20</sup> CORPUS VITREARUM. Directives pour la conservation et la restauration des vitraux. Deuxième édition, Nuremberg 2004.

- Vidrios externos que protegen de la intemperie, la polución atmosférica, la condensación y los impactos. En este caso será necesaria una distancia mínima de ventilación entre el vidrio protector y el vitral para así poder minimizar la aparición de humedad<sup>21</sup>.

## 2.7. Técnicas utilizadas en la conservación de los vitrales

Existen diversos ejemplos de vidrieras rayadas y dañadas demostrando un peligroso método de limpieza mecánico que se utiliza para eliminar los depósitos de corrosión y las incrustaciones. Hoy en día, diferentes países han desarrollado diferentes métodos de limpieza restaurativa.

Una alternativa a los métodos mecánicos es el uso de soluciones de limpieza con procesos químicos ya que de esta manera se puede disolver o recombinar el sulfato de calcio de forma selectiva, sin afectar al vidrio ni a ningún otro componente. Se pueden observar 3 tipos de sistemas para disolver el yeso de esta manera<sup>22</sup>:

### A. Carbonato de amonio

Este se lleva a cabo mediante la conversión de sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) utilizando carbonato de amonio. El producto de reacción recién formado es menos soluble que el yeso y, por tanto, debe eliminarse de algún modo antes de que forme una película calcárea en la superficie. La reacción también crea sulfato de amonio, la cual debe eliminarse ya que se trata de una sal ácida corrosiva y es inestable. Por lo tanto, cualquier residuo de sulfato de amonio puede provocar una nueva corrosión por acción ácida. Esta limpieza solo debe realizarse si estas sales pueden eliminarse por completo.

### B. Resinas de intercambio iónico

Los intercambios de iones son organismos, principalmente esferas porosas con múltiples superficies y una estructura tridimensional insoluble en agua de moléculas (matrices). Firmemente adheridos a la superficie de esta matriz de resina artificial hay grupos de anclaje a los que los iones negativos están ligeramente adheridos. Estos iones se pueden intercambiar fácilmente con los iones en la fase líquida. El principio detrás de los intercambiadores de iones es su capacidad para intercambiar iones de forma selectiva, ya sean cationes o aniones. Se pueden usar diferentes intercambiadores de iones para diferentes propósitos. Para eliminar el sulfato de calcio, los cationes como los iones de calcio se pueden intercambiar con iones de sodio para generar sulfato de sodio que es fácilmente soluble en agua. Pero hay que tener en cuenta que las resinas son muy ácidas, lo que supone un problema para la buena conservación del vitral.

---

<sup>21</sup> REPRESA BERMEJO, I. “La estética de las vidrieras y de su degradación”. En: THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE. *Conservación de vidrieras históricas. Análisis y diagnóstico de su deterioro. Restauración*. Santander: 1994, p. 55-71. ISBN 0-89236-492-0

<sup>22</sup> ROMICH, H. [et al.]. *Conservation. Cleaning: a balancing act*. Corpus Vitrearum [En línea]. <<https://www.cvma.ac.uk/conserv/cleaning.html>> [Consulta: 18 septiembre 2021]

## C. Agentes quelantes

El principio sobre el que actúan estos agentes quelantes es su capacidad para formar combinaciones complejas que son fácilmente solubles en agua, con un ion metálico que funciona como ion central.

Los agentes quelantes utilizados en la conservación eliminan los productos de corrosión difíciles de disolver, reaccionan selectivamente con el calcio u otros iones metálicos, lo que altera el equilibrio de la solución. Durante la reacción, la cantidad de iones liberados en la solución es proporcional a la cantidad de iones que se unen al agente quelante y disuelven la capa de corrosión continua.

Según Römich<sup>23</sup>, una comparación de la reactividad de los principales quelantes muestra que el EDTA es la sustancia más eficaz para el tratamiento de las combinaciones de calcio. No se recomiendan agentes quelantes más débiles o sustancias que deban usarse de manera más controlada, ya que prolongarán el tiempo de contacto con cualquier solución de vidrio a base de agua, lo que es un riesgo en sí mismo. Una desventaja de los agentes quelantes es el hecho de que reaccionan por igual con los iones de calcio en las incrustaciones de yeso y los componentes de calcio que son parte integral del vidrio.

Römich también comenta que la reactividad de los agentes quelantes para diferentes iones depende mucho del valor de pH de la solución, siendo el valor óptimo para la formación de complejos de calcio-EDTA de aproximadamente 12. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el vidrio sensible a los alcalinos no debe tratarse con soluciones con un valor de pH superior a 9 aunque tampoco inferior a 7, ya que esto reduce considerablemente la velocidad de la reacción.

Silvia Marín ha realizado unos estudios de nuevas metodologías acuosas con quelación controlada de pH y conductividad de seguridad adaptando el método del profesor Wolbers, comprobando que lo que explica Römich no es del todo correcto<sup>24</sup>. Antes de empezar una intervención, es necesario comprender la naturaleza del material del que está hecha la pieza y la composición de la capa de corrosión que se quiere eliminar. Además, es necesario conocer el pH y la conductividad de la pieza y el rango seguro del vidrio. El análisis de los parámetros de la pieza nos ayuda a planificar la mejor solución de limpieza y ofreciendo además un control pre- y post-tratamiento para comprobar si se ha enjuagado adecuadamente y evaluar el pH que queda en la pieza (Marín, 2021).

A través de la quelación, se pueden crear soluciones que secuestran los iones metálicos necesarios en cada situación. Los quelantes son moléculas capaces de crear enlaces con iones metálicos bi- i tri-valentes. De esta manera, los quelantes pueden disolver iones en agua que antes formaban parte de un sales insolubles<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> RÖMICH, H. [et al.]. *Conservation. Cleaning: a balancing act*. Corpus Vitrearum [En línea]. <<https://www.cvma.ac.uk/conserv/cleaning.html>> [Consulta: 18 septiembre 2021].

<sup>24</sup> MARÍN ORTEGA, S. Nuevas metodologías para la eliminación de la corrosión en patrimonio metálico arqueológico: buffers, quelantes, geles y emulsiones. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 2021. [En prensa].

<sup>25</sup> MARÍN ORTEGA, S. *Sistemes de neteja: mètode aquós. Buffers, quelants, gels, emulsions i materials silicònics*. En Teoria i pràctica de la conservació i restauració de béns arqueològics I. [Power Point].

Para poder cumplir la función de secuestrante, los grupos carboxílicos de los quelantes han de ganar cargas negativas (OH). Esto se logra con el aumento del pH, ya que la carga negativa se forma al superar determinados valores de pH, propios de cada quelante. Cuanto más alcalino es el pH, más ionizan los ácidos, pasando a forma de radicales ácidos (carboxilatos). En cambio, en ambiente ácido, es decir en forma no ionizada, la capacidad de quelación de estas moléculas es prácticamente nula. A partir de pH 8,5 se incrementan los grupos OH<sup>-</sup> (iones hidróxido) y disminuyen los H<sup>+</sup> (hidrones o cationes hidrógeno). Por lo tanto, se forman más hidróxidos de los que el quelante puede secuestrar (Marín, 2021:81).

Los agentes quelantes, por un lado, son muy selectivos en la eliminación de la corrosión metálica ya que se basa en las constantes de estabilidad quelante-ion. Cada sal metálica tiene una constante de solubilidad ( $pK_{sp}$ ) determinada que define el equilibrio entre un sólido en solución y sus respectivos iones. Hay que tener en cuenta que cuanto más alto es el valor numérico de  $pK_{sp}$  más insoluble es la sustancia. Por el contrario, si la constante de solubilidad es 0 o inferior, se trata de una sustancia muy soluble. Por otro lado, los quelantes tienen también una constante de formación o de preferencia ( $pK_f$ ) hacia los diferentes iones metálicos y una constante de estabilidad ( $pK_{stab}$ ). La quelación del ion será posible cuando  $pK_{stab}$  sea superior a  $pK_{sp}$ . De esta manera, se puede seleccionar el quelante ideal para cada tipo de corrosión (Marín, 2021:81).

Silvia Marín asegura que siempre y cuando el pH sea el adecuado dentro de una solución tampón o *buffer*, el uso de quelantes será seguro. Hay que tener en cuenta que los quelantes normalmente son ácidos en origen y, por lo tanto, si se usan en forma ácida libre, estos no desarrollarán una acción quelante. Podrán disolver algunas sustancias debido a la acción del pH, pero también actuarán de forma poco selectiva y atacarán por acidez.

Con la gelificación y el emulsionado de estas soluciones se puede llegar a limitar la humectación además de poder delimitar las zonas de actuación. Aunque también pueden emplearse geles dinámicos estos no son tan aconsejables ya que pueden dejar residuos. Por ello será mejor emplear geles rígidos como el agar para asegurar que no quedan restos de residuos detectables.

### 3. BLOQUE PRÁCTICO

#### 3.1. Informe

Se encontraron descontextualizados y desmontados en una reserva de la Catedral de Solsona dos vitrales, uno de los cuales ha servido para hacer este trabajo final de grado (número de catalogación 1882-1). La característica esencial es el hecho de que la cara buena y la cara colocación es la misma. No es algo fuera de lo común, pero si que es cierto que estamos acostumbrados a ver la cara buena al lado contrario de la cara colocación.

Para poder diferenciar los dos lados se ha decidido llamar “cara A” al lado por el cual se ven las letras del revés mientras que se ha llamado “cara B” al lado donde se sitúan los travesaños y la masilla.

#### Fotografías iniciales



*Imagen 2. Fotografía inicial de la cara A (izquierda) y de la cara B (derecha). Fotografía: Lucía Ponce.*

### 3.2. Examen organoléptico

Este examen organoléptico se hizo tanto del soporte como de los depósitos superficiales:

#### SOPORTE

El emplomado es en forma de “H” y cada zona de contacto entre los diferentes trozos de plomo hay una soldadura de estaño que los une para mantener firme la estructura del vidrio.

El conjunto del vitral está enmarcado por un bastidor rectangular de hierro que aguanta todo el peso de la pieza y la mantiene fija. A su alrededor se encuentran 5 tornillos de sujeción (2 a cada costado y uno en la zona inferior).

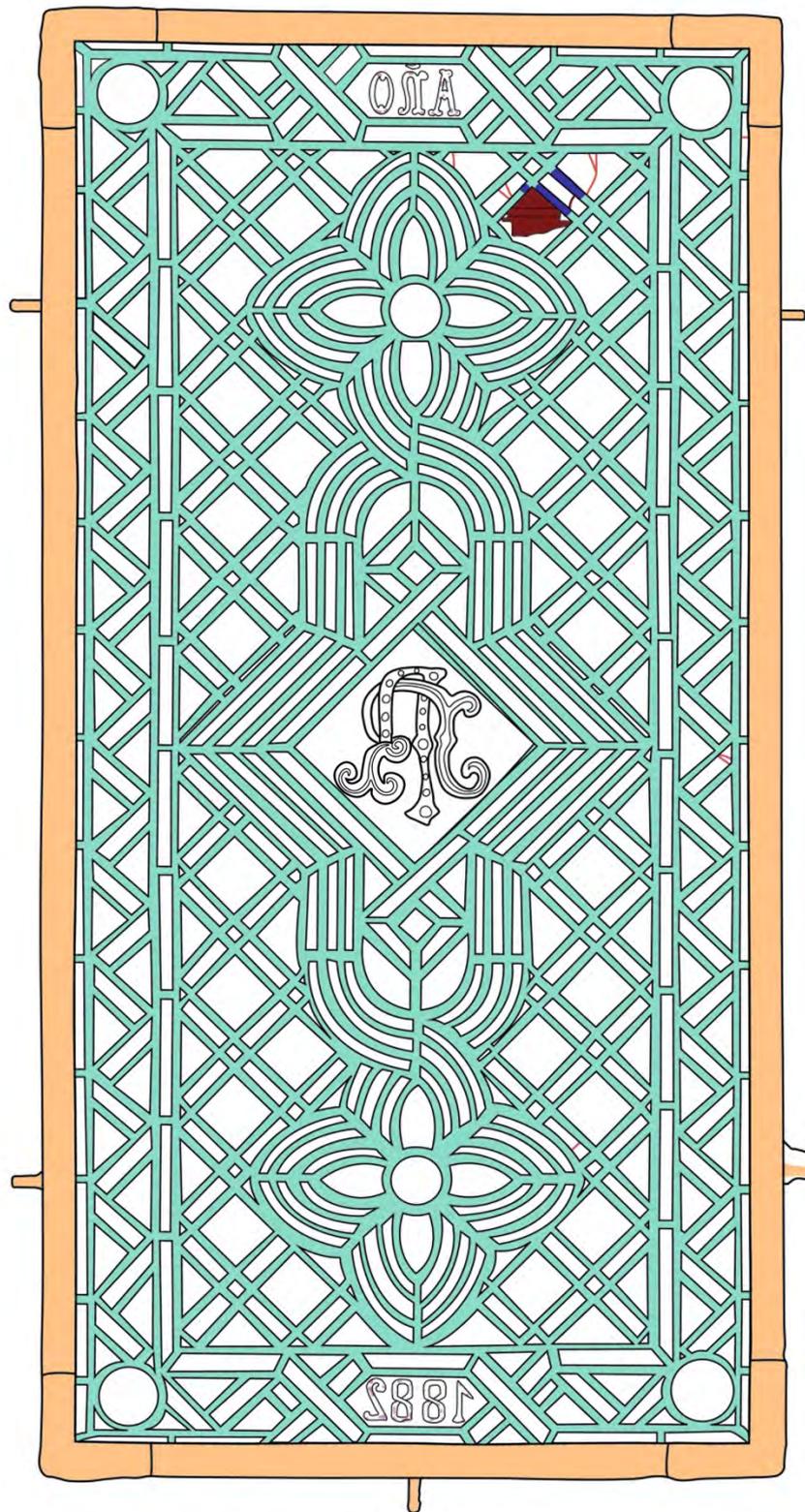
En la cara B se observan 7 travesaños de hierro, 6 de los cuales lo recorren en toda su totalidad en horizontal mientras que el del medio en cuanto llega al motivo central sigue la forma romboidal y se sujeta a los travesaños que encuentra a su lado tanto en el superior como en el inferior. De esta manera consigue tener mucha más resistencia en la estructura. Por último, en esta misma cara B se encuentra la masilla, la cual está entre el vidrio i el bastidor.

#### Alteración del soporte

Como se ha visto anteriormente, el soporte del vitral está compuesto por: bastidor, grisalla, masilla, plomo, tornillos de sujeción, travesaños y vidrio. A continuación, se encuentran las diferentes alteraciones que presentan cada uno de estos elementos:

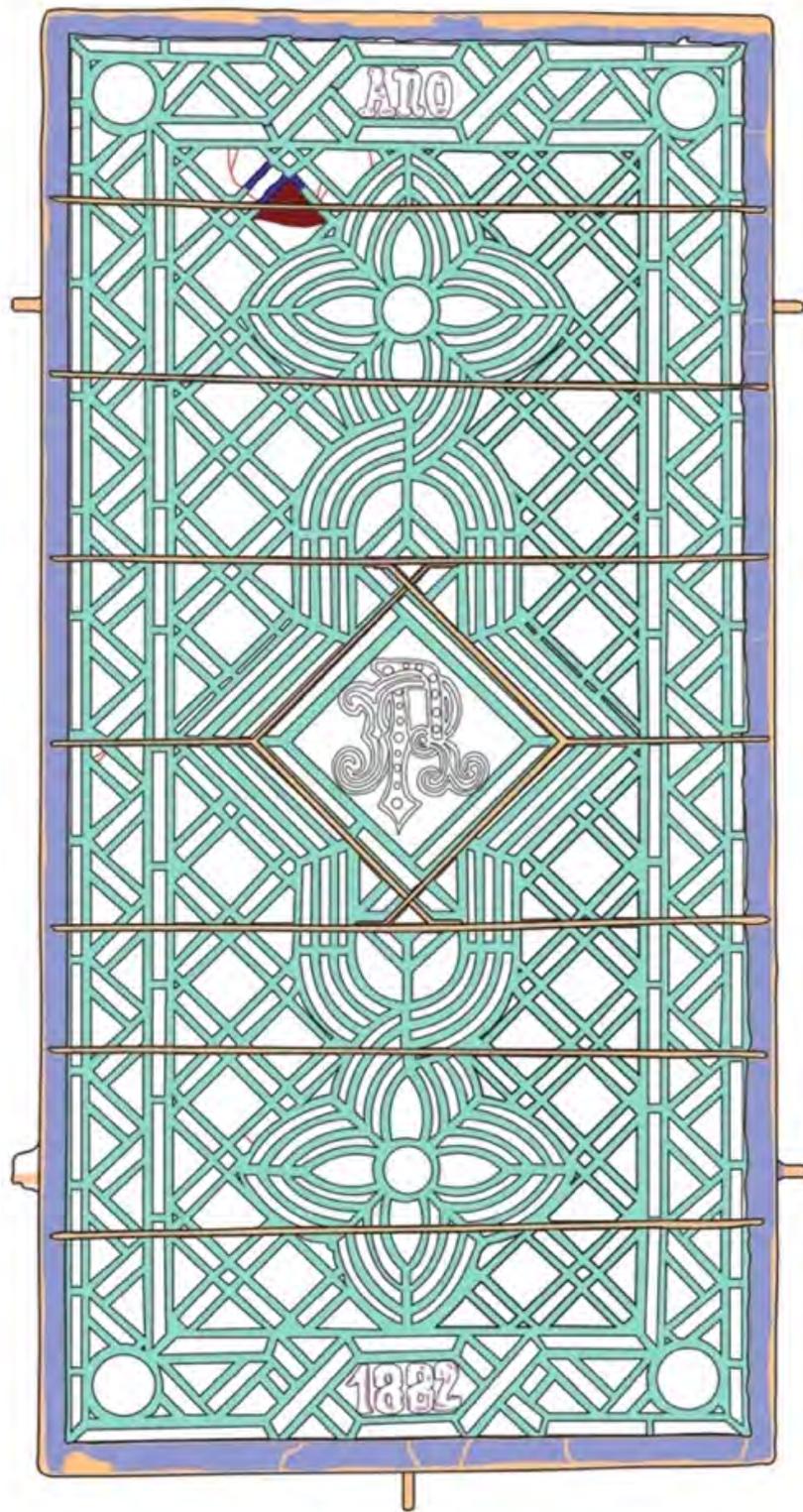
Elemento	Alteración	Zona
<b>Bastidor</b>	Corrosión en forma de óxido de hierro	Uniforme en toda la superficie
<b>Grisalla</b>	Puntos de ausencia	Tanto en la zona superior (“año”) como en la inferior (“1882”)
<b>Masilla</b>	Agrietada y levantada	Sobretudo en la zona inferior
<b>Plomo</b>	Corrosión en forma de óxido de plomo	Uniforme en toda la superficie
	Deformación y rotura	Puntualmente donde hay ausencia de vidrio en la zona superior
<b>Tornillos de sujeción</b>	Corrosión en forma de óxido de hierro	Uniforme en toda la superficie
<b>Travesaños</b>	Corrosión en forma de óxido de hierro	Uniforme en toda la superficie
<b>Vidrio</b>	Fracturas y grietas	Puntualmente en diferentes zonas del vitral
	Ausencia de material	En la zona superior
	Corrosión: ausencia de brillo y con opacidad	Uniforme por toda la superficie

A continuación, se puede apreciar el mapa de alteraciones del soporte por ambas caras del vitral:



Leyenda	
● Óxido de hierro	— Grietas y fisuras del vidrio
● Óxido de plomo	● Rotura y deformación del plomo
● Laguna del vidrio	● Pérdida de grisalla

Imagen 3. Mapa de alteración del soporte de la cara A. Realizado por Lucía Ponce.



Leyenda	
● Óxido de hierro	↘ Grietas y fisuras del vidrio
● Óxido de plomo	● Rotura y deformación del plomo
● Laguna del vidrio	● Pérdida de grisalla
● Masilla agrietada	

Imagen 4. Mapa de alteraciones del soporte de la cara B. Realizado por Lucía Ponce.

Por lo que se puede observar, el estado de conservación del soporte presenta en su mayoría corrosión y otras alteraciones que dependen según la zona del vitral.

El vidrio presenta una superficie lisa y no porosa. Mayoritariamente se encuentra en buenas condiciones a excepción de algunas pequeñas grietas y la ausencia de vidrio en un punto en concreto (zona superior). Lo mismo pasa con el plomo, el cual se encuentra roto y deformado en la misma zona donde hay ausencia de vidrio. Esto podría deberse a un golpe sufrido en algún momento de su vida.

Por otro lado, el hierro (bastidor, tornillos y travesaños) presenta una corrosión homogénea en toda la superficie. Se aprecia óxido de hierro posiblemente hematites roja e hidróxido de hierro posiblemente goethita.

### **Depósitos superficiales**

Esta sección se ha decidido separar según la cara del vitral ya que cada lado presenta diferentes depósitos superficiales.

#### Cara A

Contiene una capa homogénea de polvo y suciedad en todos los materiales (vidrio, hierro y plomo). De la mitad para abajo hay concreciones calcáreas mientras que en la parte superior se encuentran restos de animales (insectos). Por último, se encuentran restos de paja en los bordes del vitral donde hay huecos. Estos restos vegetales fueron utilizados como protección del vidrio.

#### Cara B

Contiene una capa homogénea de polvo y suciedad sobre todo los materiales (vidrio, hierro y plomo) con algún resto de paja. En la parte inferior se observan restos de cal y pintura que posiblemente se acumulasen al estar el vitral apoyado en la pared.

En cuanto al bastidor y a los tornillos de sujeción se observan restos de mortero.

Por todo ello podemos considerar que el vitral presenta un estado de conservación malo debido a la gran cantidad de depósitos superficiales que impiden la visualización correcta del vidrio. Un claro ejemplo de ello se puede observar en la cara A donde las letras del centro no pueden verse con claridad.

A continuación, se puede apreciar el mapa de alteraciones de los depósitos superficiales por ambas caras del vitral<sup>26</sup>:

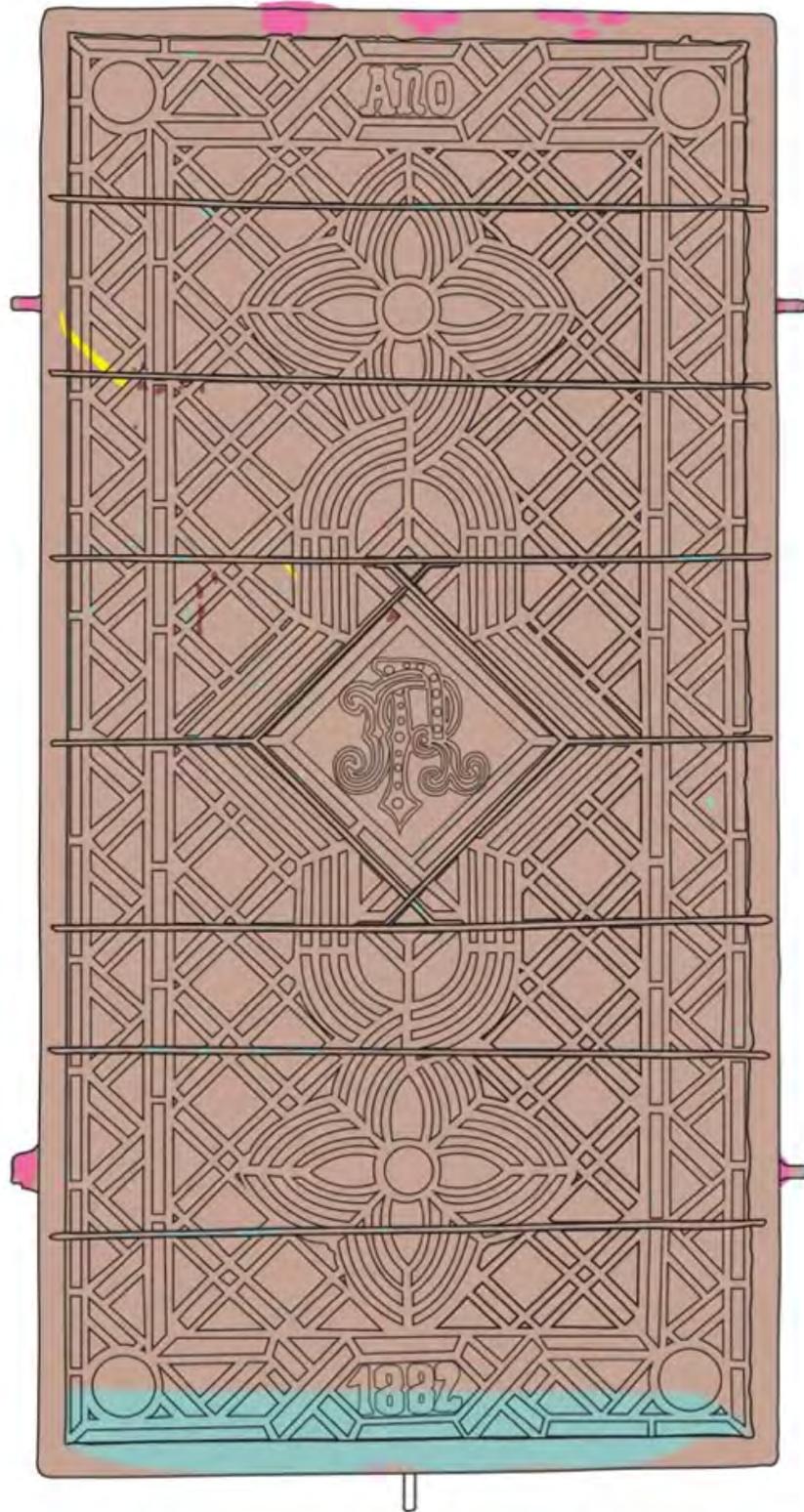
---

<sup>26</sup> Ver más detalle en las imágenes 32 y 33 del anexo.



Leyenda	
● Polvo y suciedad	● Restos animales (bichos)
● Concreciones calcáreas	● Restos vegetales
● Mortero	

Imagen 5. Mapa de alteración de los depósitos superficiales de la cara A. Realizado por Lucía Ponce.



Leyenda	
● Polvo y suciedad	● Cal
● Mortero	● Pintura
● Paja	

Imagen 6. Mapa de alteraciones de los depósitos superficiales de la cara B. Realizado por Lucía Ponce.

### 3.3. Análisis físico-químicos

Se han hecho 3 análisis físico-químicos: análisis a la gota, conductividad y pH.

#### Análisis a la gota

Con este análisis lo que se pretende es observar la capacidad de absorción de la superficie a tratar. Según el ángulo que forma la gota se podrá decir que la superficie es propensa a la absorción (ángulo inferior a 90°) o no (ángulo superior a 90°).

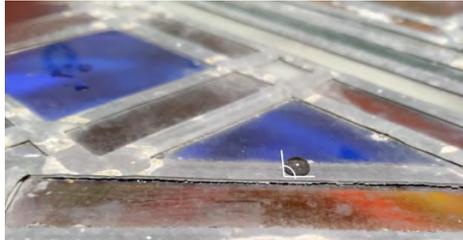


Imagen 7. Ángulo de la gota sobre el plomo. Fotografía: Lucía Ponce.

Resultado: Tanto las gotas en el plomo como en el vidrio presentan un ángulo superior a 90° lo cual nos indica que el líquido no penetra lo sólido, apreciando así que no hay absorción.

#### Conductividad

Para medir la conductividad se ha preparado un gel de agarosa de baja impureza EEO al 5% en agua desionizada hasta hacer 25ml. Una vez que el gel se ha hecho se ha puesto en una placa creando un grosor de 1mm aproximadamente i se ha dejado enfriar. Se han cortado 3 circunferencias del tamaño del electrodo del conductímetro y se han puesto sobre diferentes puntos de la pieza durante 20 minutos. Después con el conductímetro se ha medido la conductividad.



#### Resultado

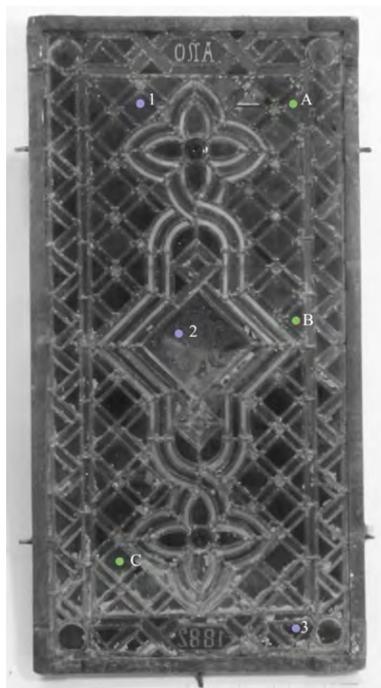
Nº	µS	Nº	µS
1	174	A	360
2	130	B	159
3	160	C	173

Los resultados de la conductividad, muestran unos niveles de sales solubles normales para las capas de superficie y alteraciones que presenta el vitral. Con una conductividad alrededor de 130 y 174 a excepción de un resultado más elevado que ha llegado a los 360 µS.

Imagen 8. Puntos donde se ha tomado la conductividad de la cara A.

## PH

Para medir el pH se ha preparado un gel de agarosa de baja impureza EEO al 5% en agua desionizada hasta hacer 25ml. Una vez que el gel está hecho se ha puesto en una placa creando un grosor de 1mm aproximadamente y se ha dejado enfriar. Se han cortado 3 circunferencias del tamaño del pH-metro y se han puesto sobre diferentes puntos de la pieza durante 20 minutos. Después con el pH-metro se ha medido su pH.



### Resultado

Nº	pH
1	6,6
2	5,9
3	6,5

Nº	pH
A	6,4
B	6,4
C	6,3

Los resultados del pH muestran un soporte ligeramente acidificado con valores mínimos de 5,9 y máximos de 6,6. Esto es normal para las capas de superficie y alteraciones que presenta, así como el estado de corrosión del vidrio.

*Imagen 9. Puntos donde se ha tomado el pH de la cara A.*

## Conclusiones

Teniendo en cuenta el estado de conservación de la pieza y las degradaciones que presenta el vitral, es necesario realizar un proceso de conservación-restauración para así poder detener y evitar los procesos de degradación presentes y futuros, así como recuperar la correcta lectura de esta que se encuentra alterada a causa de depósitos ajenos a la pieza.

Se aplicará un criterio arqueológico/museístico limitándonos a la limpieza y estabilización del soporte metálico. Además, se realizará una limpieza del vidrio, se consolidarán las zonas rotas y se hará una restauración del vidrio ausente.

Por su naturaleza sensible a las condiciones ambientales se aplicarán también una serie de medidas de conservación preventiva pasiva en un embalaje estable para que así pueda llegar a su destino.

### 3.4. Propuesta de intervención

1. Limpieza mecánica en seco de los depósitos superficiales
2. Eliminación de los restos de mortero
3. Eliminación de la corrosión del hierro con limpieza mecánica
4. Eliminación de costras o escamas de corrosión con proceso mecánico

5. Eliminación de los depósitos superficiales más adheridos, de la corrosión del plomo, de las soldaduras y de las costras o escamas de corrosión con proceso acuoso-químico (*buffers* y *buffers* con quelante)
6. Aplanamiento y corrección de las deformaciones de los plomos
7. Unión y consolidación de fragmentos
8. Reintegración material y cromática
9. Consolidación de la masilla
10. Embalaje y condiciones de conservación preventiva

### 3.5. Intervención de conservación y restauración

#### Limpieza mecánica en seco de los depósitos superficiales

Con una paletina y un aspirador se ha limpiado la suciedad superficial de las dos caras del vitral. Se han retirado los restos vegetales y los restos animales que había.

Una vez se ha terminado de hacer la limpieza mecánica, se ha procedido a medir la conductividad y el pH de la pieza tal y como se ha indicado en los análisis físico-químicos.



*Imagen 10. Limpieza superficial con paletina.  
Fotografía: Silvia Marín.*

Material utilizado: paletina, aspirador, agarosa de bajo EEO al 5% en agua desionizada.

#### Eliminación de los restos de mortero

Se han quitado los restos de mortero que habían adheridos al bastidor del vitral. Para ello se han dado golpes con la ayuda de un destornillador y un martillo con mucho cuidado de no dar al soporte.

Material utilizado: martillo, destornillador.



*Imagen 11. Eliminación del mortero adherido al bastidor.  
Fotografía: Silvia Marín.*

#### Eliminación de la corrosión del hierro con limpieza mecánica

Se ha eliminado la corrosión de todo el hierro, tanto del bastidor y de los tornillos como de los travesaños, haciendo una microabrasión con un microtorno de punta de fresadora y con el aspirador se ha ido limpiando la superficie. Se han aplicado varias capas de protección con ácido tánico por toda la superficie del hierro.



Imagen 12. Proceso de eliminación de la corrosión del hierro con microtorno. Fotografía: Lucía Ponce.

**Material utilizado:** microtorno con punta de fresadora de corindón, aspirador, ácido tánico al 5% en etanol.

### **Eliminación de costras o escamas de corrosión con proceso mecánico**

Con un bisturí se han eliminado las zonas donde había costras de corrosión. Cuando la costra estaba bien adherida a la superficie se ha optado por ablandar con un *buffer* quelante con DTPA.

**Material utilizado:** bisturí, borato sódico con quelante DTPA: ácido bórico al 0,2%, DTPA al 2% y NaOH hasta hacer 8,8pH y una conductividad de 10200 $\mu$ S.

### **Eliminación de los depósitos superficiales más adheridos, de la corrosión del plomo, de las soldaduras y de las costras o escamas de corrosión con proceso acuoso-químico (*buffers* y *buffers* con quelante)**

Para poder ver cual es la substancia más adecuada para quitar las alteraciones del vitral se ha realizado un test de disolventes donde se probó la acetona y el agua. Estas sustancias acuosas se han probado en diferentes zonas afectadas por degradación, opacidad, polvo y corrosión del vidrio y plomo. La acetona se ha utilizado para comprobar si había adhesivos o intervenciones anteriores. Se pudo concluir que el agua tenía un mejor efecto de limpieza, por ello se descarta la presencia de resinas. Indica además que se trata de una alteración soluble en agua y, por tanto, se ha decidido probar a preparar un *buffer* con las características adecuadas para extraer el máximo posible de las alteraciones.



Imagen 13. Limpieza con proceso acuoso-químico. Fotografía: Lucía Ponce.

Debido a que se tratan de costras de alteración del vidrio como sulfato cálcico, carbonato cálcico y suciedad incrustada, se requiere de un quelante para la complejón de los iones metálicos. Según las constantes de solubilidad se requirió de DTPA haciendo una primera

prueba en concentraciones bajas desde 0,2% pero se tuvo que ir incrementando hasta un 4% ya que las costras eran muy persistentes (0,2% de ácido bórico, 4% de DTPA, agua desionizada y unas gotas de NaOH 4M hasta llegar a 8,8pH por tal de tamponar el *buffer*).

Con un hisopo impregnado de *buffer*, se ha ido pasando por la superficie de vidrio y del plomo. Para enjuagar se ha utilizado agua desionizada y seguidamente un hisopo seco. En caso de zonas donde había costras y no se conseguía quitar con la limpieza acuosa, se ha reforzado la limpieza acuosa con acción mecánica utilizando herramientas de madera y bisturí.

Se ha hecho una limpieza físico-química por toda la superficie del vidrio y del plomo con un *buffer* quelante con DTPA al cual se le ha variado la concentración de DTPA según el resultado que se quería conseguir.



Imagen 14. Antes y después de la limpieza química-acuosa en un vidrio.

Se ha querido probar la gelificación del *buffer* para ver si se conseguía quitar más corrosión ya que con la limpieza acuosa en libre se tenía que hacer muchas pasadas para poder conseguir un resultado eficaz. Para hacer el gel del *buffer* se ha utilizado agar al 4%.

Para hacer una primera prueba se han preparado 100gr, en la cual se ha puesto 4gr de agar y 100ml del *buffer*. Al estar el agar a 4% cuesta más de calentar y se ha de remover bastante. Con el gel ya listo se ha puesto en un recipiente para crear una plancha. Una vez sólido se ha aplicado sobre algunas zonas del vidrio y se ha dejado actuar durante 20 minutos.

El resultado ha sido eficiente y se ha decidido probar a aplicar el gel tibio, antes de su gelificación por tal de ver si hay un mejor resultado (imagen 13). Esta segunda prueba se ha realizado sobre vidrio y sobre plomo con un resultado muy bueno.



Imagen 15. Prueba de limpieza química-acuosa gelificada. Fotografía: Lucía Ponce.

Al ver el buen resultado se ha elaborado otro *buffer* al 4% y otro al 2%. Este *buffer* al 2% se ha utilizado para hacer una tercera prueba de gelificación (agar al 4% igualmente) y se ha dejado durante una hora y media sobre la superficie comprobándolo cada media hora para ver como iba. Una vez pasado el tiempo, se ha pasado un algodón seco y se ha limpiado con agua desionizada. Después, para acabar de dejar bien la zona, se ha pasado el hisopo con el *buffer* al 4%, enjuagando con agua desionizada y secando de nuevo.

Para una mejor eliminación de los depósitos superficiales se ha preparado un gel de agar del *buffer* quelante con DTPA. Las aplicaciones se han hecho entre 1 y 2 horas para que actuase bien.



*Imagen 16. Limpieza con proceso acuoso-químico con gel de Agar. Fotografía: Lucía Ponce*

Después de quitar cada gel se ha pasado agua desionizada para enjuagar la pieza y se ha secado con un hisopo seco.

Una vez limpio, se le ha pasado una gamusa para dar un mejor acabado. Se ha pasado la paletina y el aspirador para acabar de quitar el polvo más reciente.

Se le ha dado la vuelta al vitral y se ha acabado de limpiar las zonas sucias que quedaban y que se veían muy bien desde el otro lado.

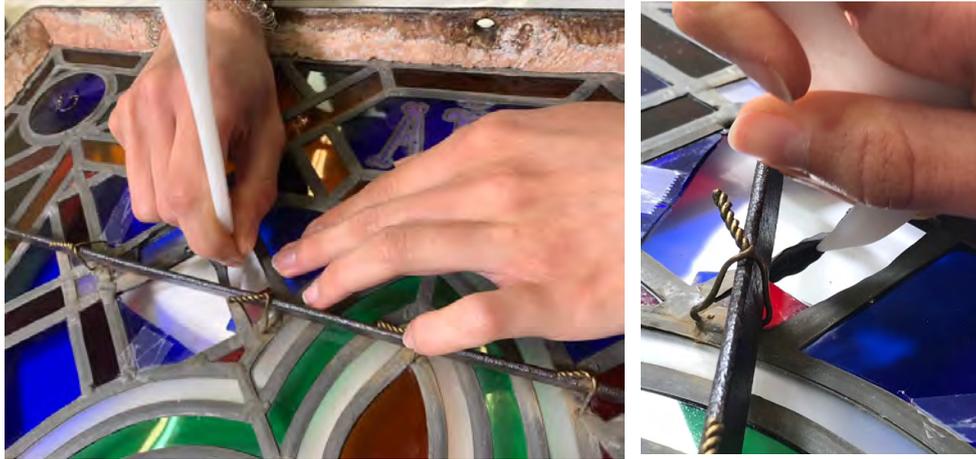
En las zonas donde había la cinta de pintor, se ha quitado y se ha limpiado con AE2 (acetona:etanol a 50:50) los restos de adhesivo y se ha puesto la cinta adhesiva reversible para sujetar bien las piezas rotas.

Material utilizado: Borato sódico con quelante DTPA: ácido bórico al 0,2%, DTPA al 2% y NaOH hasta hacer 8,8pH y una conductividad de 10200 $\mu$ S. Borato sódico con quelante DTPA: ácido bórico al 0,2%, DTPA al 3% y NaOH hasta hacer 8,8pH y una conductividad de 10100 $\mu$ S. Borato sódico con quelante DTPA: ácido bórico al 0,2%, DTPA al 4% y NaOH hasta hacer 8,8pH. Agar (Agararts®) al 4% en borato sódico con quelante DTPA al 2%. Agar (Agarart ®) al 4% en borato sódico con quelante DTPA al 3%. Gamusa. AE2.

### **Aplanamiento y corrección de las deformaciones de los plomos**

Se ha ajustado la longitud de unos plomos que estaban deformados debido a un golpe y que se superponían. Para ajustar la longitud se ha cortado con un bisturí el plomo que estaba en peores condiciones hasta que quedaba ajustado a la otra parte del plomo y se han cerrado las alas del plomo deformado con una tingla.

Material utilizado: tingla, bisturí.



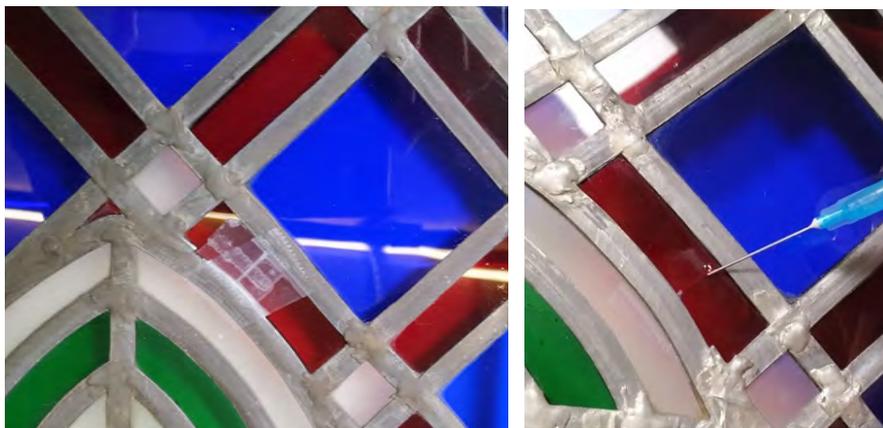
*Imagen 17. Aplanamiento y corrección del plomo con una tingla. Fotografía: Laura Pablo.*

### **Unión y consolidación de fragmentos**

Se han adherido los fragmentos de vidrio que coincidían con cinta adhesiva reversible y cinta adhesiva más fuerte para aportar una buena unión.

Se ha mantenido el vitral en una posición adecuada para poder colocar los fragmentos de vidrio en su sitio correspondiente haciendo una cierta presión y abriendo más el plomo en caso de ser necesario, sobretudo en los bordes donde había las soldaduras de éste. Se han colocado los trozos de vidrio y se han vuelto a bajar los plomos con la tingla.

Para la consolidación de los fragmentos tanto de los que se han vuelto a colocar como de los vidrios rotos que había en el vitral se ha utilizado una resina epoxídica bicomponente de gran transparencia. Por un lado, se ha hecho una barrera con cinta adhesiva para que así no pasase la resina y se ha aplicado esta con una aguja fina. Se ha dejado secar y se ha quitado el exceso de resina con un bisturí.



*Imagen 18. Unión y consolidación de los vidrios rotos. Fotografía: Lucía Ponce.*

Material utilizado: Cinta adhesiva reversible “transparent manding tissue” de Lineco®, tingla, bisturí, Araldite 2020®.

## Reintegración material y cromática

### Pruebas de color de resina con Araldite 2020

La resina Araldite 2020 se trata de una resina epoxídica bicomponente 100:30. Para hacer la mezcla se ha cogido una aguja para cada uno de los componentes líquidos i después de cada uso se ha limpiado con acetona o AE2.

#### 1) Azul

La prueba del color azul ha sido sencilla en cuanto al color ya que el azul del vidrio se trata del azul ultramar foso. A continuación, se muestra una tabla con las diferentes cantidades de resina y pigmento utilizado:

Nº prueba	Mezcla	Peso resina	Peso pigmento	Color pigmento
1	2 (A) + 0,6 (B)	2,6 g	0,12 g	Azul ultramar foso
2	1 (A) + 0,3 (B)	1,3 g	0,04 g	Azul ultramar foso
3	1 (A) + 0,3 (B)	1,3 g	0,04 g <sup>27</sup>	Azul ultramar foso
4	1 (A) + 0,3 (B)	1,3 g	0,03 g	Azul ultramar foso
5	3 (A) + 0,9 (B)	3,9 g	0,06 g	Azul ultramar foso
6	4 (A) + 1,2 (B)	5,2 g	0,03 g	Azul ultramar foso
7	8 (A) + 2,4 (B)	10,4 g	0,04 g	Azul ultramar foso
8	10 (A) + 3 (B)	13	0,1 g	Azul ultramar foso

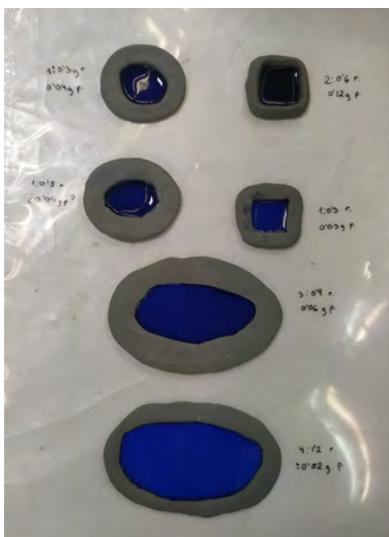


Imagen 19. Prueba de color azul. Fotografía: Lucía Ponce.

#### 2) Rojo

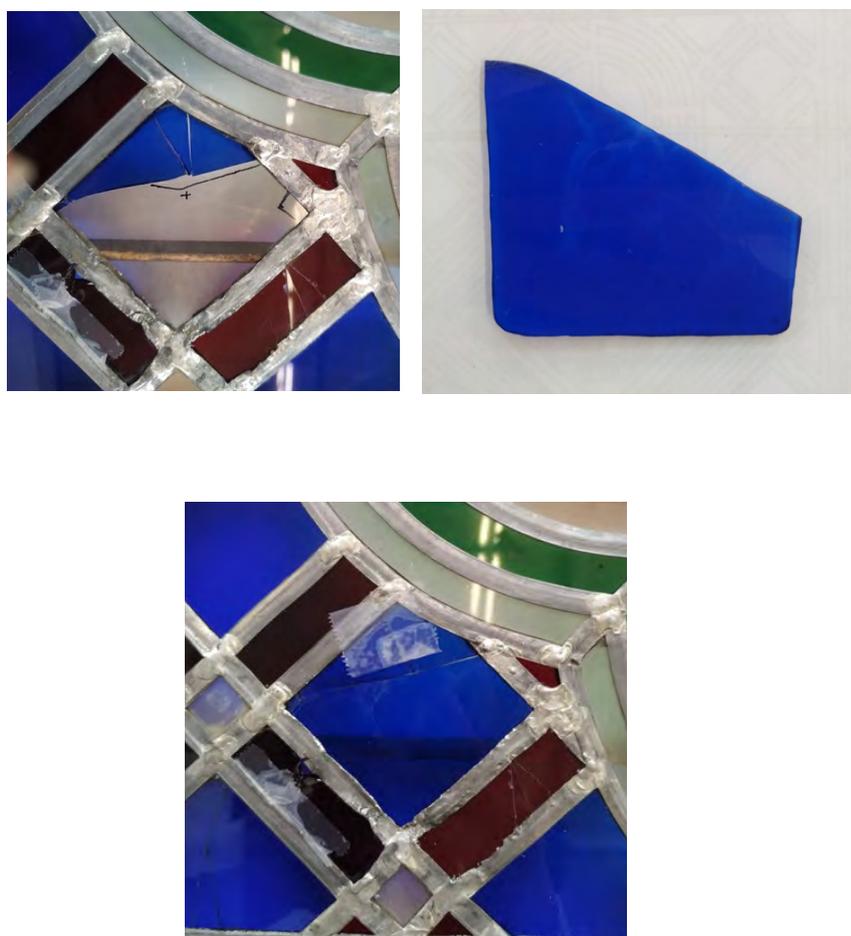
En cuanto al color rojo se ha tenido que buscar el tono más oscuro del vitral. Para poder conseguir el tono deseado se han tenido que mezclar diferentes pigmentos: 60% de laca de granza, 30% negro y 10% rojo cadmio.

<sup>27</sup> Se pretendía hacer 0,03g pero hubo un error en la balanza.

Hubo un problema con la solidificación de este color. El Araldite 2020 normalmente se seca y queda duro pasadas 24 horas, pero con el rojo no se consiguió en tan poco tiempo. Se dejó secar durante una semana ya que cada vez que se comprobaba la prueba, esta aún era muy maleable.

### ***Proceso de reintegración***

Se ha hecho una lámina de resina epoxídica bicomponente con una pigmentación azul ultramar. Para tomar bien las medidas se ha cogido un papel de acetato, se ha puesto sobre la laguna y se ha marcado el límite de esta. Con este metacrilato como modelo de medida se ha recortado la resina con un bisturí caliente y se ha colocado en la laguna.

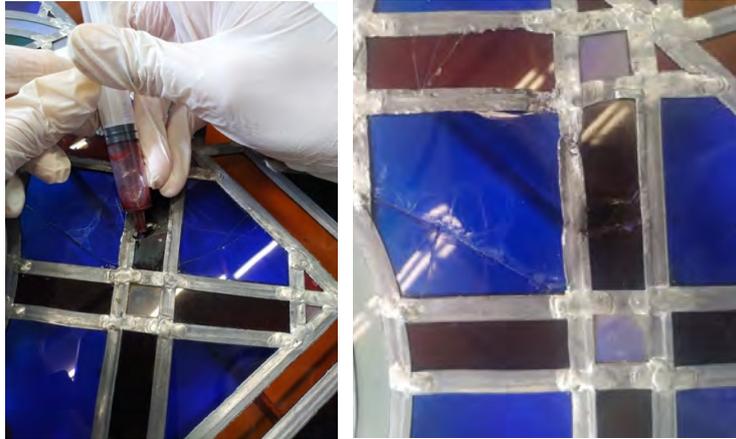


*Imagen 20. Proceso de creación de la lámina de resina para hacer la reintegración material. Fotografía: Lucía Ponce.*

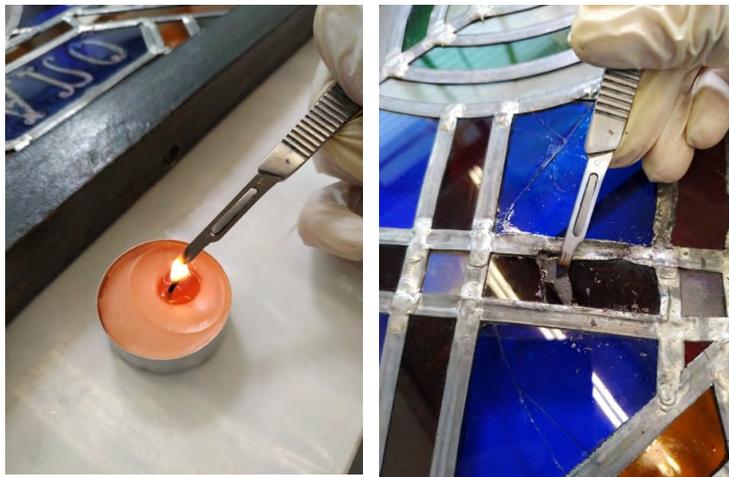
Con la resina epoxídica bicomponente se han acabado de adherir los fragmentos y la resina azul de manera que se han tapado los pequeños agujeros que quedaban.

Por otro lado, una pequeña laguna que había en un rectángulo rojo se ha reintegrado por colada con la misma resina tiñéndola del tono más semejante al deseado. Debido a unas complicaciones, la resina por colada se ha tenido que espesar un poco con una sílice

coloidal anhidra y se ha aplicado con la ayuda de una espátula. Una vez seca esta capa de resina roja se ha tenido que cortar a nivel con el vidrio utilizando un bisturí caliente.

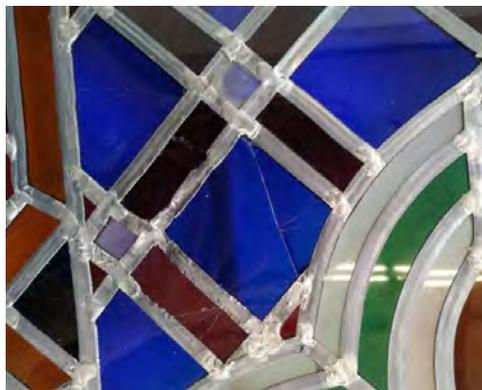


*Imagen 21. Reintegración material y cromática por colada. Fotografía: Laura Pablo.*



*Imagen 22. Nivelado de la resina roja con un bisturí caliente. Fotografía: Lucía Ponce.*

Debido a que el resultado de la resina azul no era del agrado se ha decidido aplicar barniz brillante para así poder disimular los defectos que ésta presentaba. De la misma manera se ha hecho con la resina roja para así darle el brillo que le faltaba.



*Imagen 23. Resultado de aplicar barniz brillante a la reintegración material. Fotografía: Lucía Ponce.*

Material utilizado: Araldite 2020®, acetato, bisturí, cinta adhesiva, pigmentos (ultramar, laca roja, rojo cadmio, negro), Gamvar Gloss ®.

### **Consolidación de la masilla**

Se ha hecho un refuerzo de la masilla que se desprendió del bastidor adhiriendo los trozos con un adhesivo bicomponente.



*Imagen 24. Refuerzo de la masilla. Fotografía: Lucía Ponce.*

Material utilizado: Araldite ®

### **3.6. Embalaje y condiciones de conservación preventiva**

Para poder favorecer la buena conservación del vitral hasta su destino se han adoptado unas medidas protectoras. Se ha recortado y ajustado la espuma de polietileno para cada tornillo del vitral de manera que no sufriesen ningún golpe que pudiese favorecer una mala conservación.



*Imagen 25. Colocación de la espuma de polietileno en los tornillos de sujeción. Fotografía: Lucía Ponce.*

Se han recortado varias láminas de plástico de burbujas del tamaño del vitral y se han colocado encima para aportar más protección. En las esquinas se ha puesto plástico de burbujas doblado para así poder amortizar mejor los posibles golpes que pudiese recibir. Este plástico de burbujas se ha fijado con cinta de pintor.



*Imagen 26. Protección del vitral con plástico de burbuja. Fotografía: Lucía Ponce.*

Por último, se ha envuelto el vitral entero en 3 capas de plástico de burbujas por cada lado y se han cerrado bien las aberturas con cinta de pintor.



*Imagen 27. Resultado final del embalaje del vitral. Fotografía: Lucía Ponce.*

Material utilizado: espuma de polietileno, plástico de burbujas, cinta de pintor.

### **Condiciones ambientales después del tratamiento**

Humedad Relativa: 45-50%

Temperatura: 18-20°C

Lux: 150 evitando los rayos UV

Conservación preventiva: atmosfera seca y limpia de polvo.

Hay que hacer un seguimiento cada 6 meses.

## Fotografías finales



*Imagen 28. Fotografías finales de la cara A (izquierda) y la cara B (derecha) del vitral. Fotografía: Lucía Ponce.*



*Imagen 29. Montaje del vitral antes de la intervención (derecha) y después (izquierda). Realizado por Lucía Ponce.*

## 4. CONCLUSIONES

Como se ha podido observar en el trabajo, el vitral 1882-1 de la Catedral de Solsona es de carácter ecléctico de 2 composiciones: un motivo central con las iniciales “P” y “R”, y unas flores que lo envuelven encajadas en retículas romboidales; y una decoración alrededor en zigzag con una ciba en cada esquina.

Este vitral presenta algunos interrogantes que aún no se han podido responder. Uno de ellos se centra en su montaje donde vemos que la cara buena (cara hecha para ser vista) y la cara colocación (donde están los hierros) son la misma. Como ya se mencionó con anterioridad, no es algo fuera de lo normal, se pueden encontrar varios ejemplos. También son frecuentes los errores en los montajes y vitrales que tendrían que leerse desde el interior y se ven al revés.

Otro interrogante que nos deja este vitral es su ubicación. Se trata de un vitral descontextualizado y desmontado que se encontró en la reserva de la Catedral y que a día de hoy sigue sin saberse en qué parte de la Catedral podría haber ido montado este vitral.

La intervención sobre el vitral ha servido para poder poner en práctica los conocimientos sobre las técnicas de limpieza acuosa adaptadas según la alteración del material a tratar y sin alterar dicho material.

Se ha respetado la obra conservando el máximo de elementos que la componen (vidrio, plomo y hierro). Mediante el método acuoso tamponado y gelificado se ha podido hacer la limpieza del conjunto demostrando así una manera rápida, eficaz y, sobretodo, segura para la conservación del vitral. Como se ha podido comprobar, este método acuoso necesita de un control del pH y de la conductividad de la pieza, así como de los parámetros de las constantes de estabilidad quelante-ion.

En cuanto a la ausencia material en una zona del vitral, esta hacía peligrar el fragmento que aún quedaba ahí y se decidió reintegrar con una resina epoxi bicomponente con el mismo tono de manera que la vista no saltase directamente a esa zona. Se decidió hacer la reintegración con resina ya que el vitral no será expuesto a la intemperie, sino que se mantendrá en un espacio controlado.

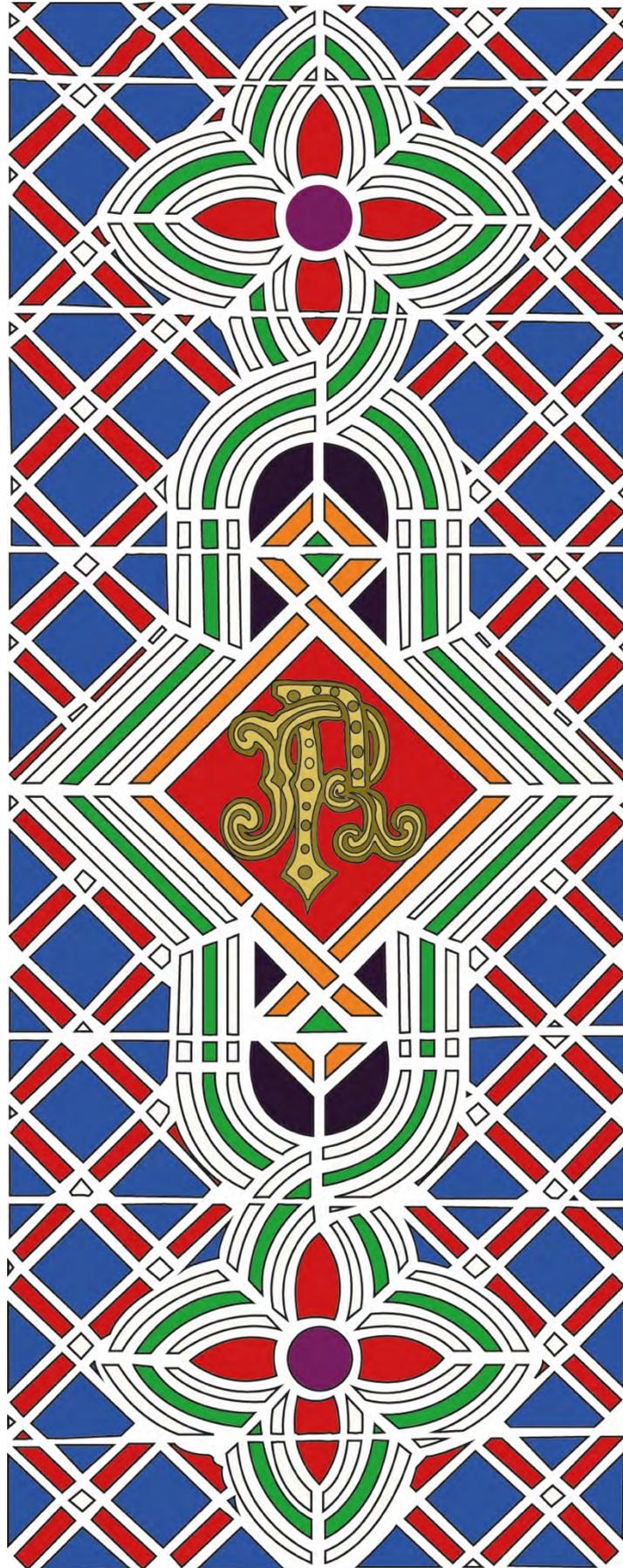
Me gustaría enfatizar que en las restauraciones de vitrales no hay una única técnica que sirva como patrón para tratar todos los vitrales. La naturaleza compleja de la deterioración que presenta el vitral exige una preparación e investigación individual. Y, a veces, ante la dificultad de la problemática que presenta, será necesaria la cooperación de especialistas de diferentes áreas para trabajar juntos en la restauración.

## 5. BIBLIOGRAFIA

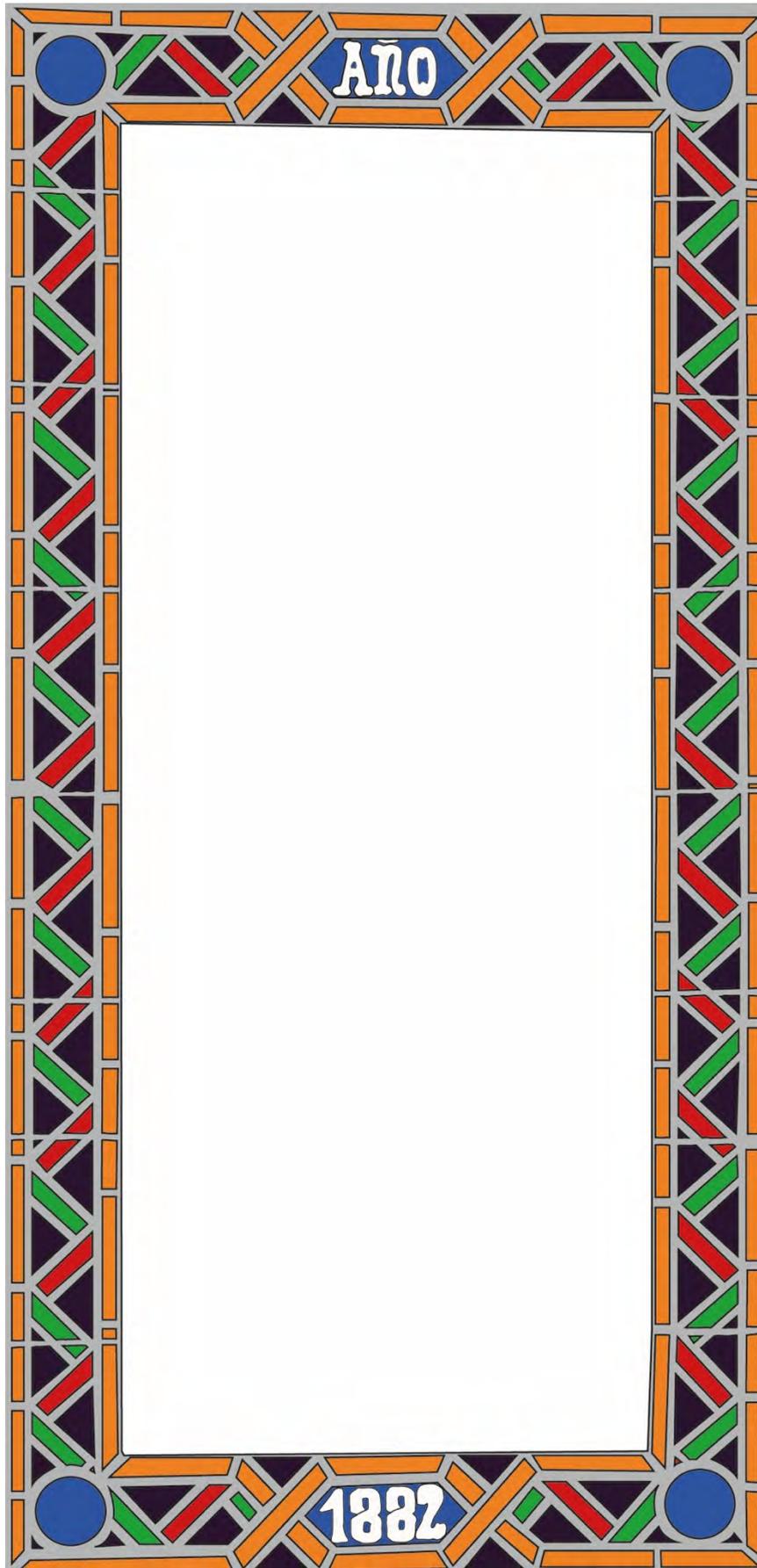
- AJUNTAMENT DE SOLSONA. *El bisbat i el títol de ciutat* [En línea]. <<https://www.ajsolsona.cat/la-ciutat/historia-i-tradicio/historia/el-bisbat-i-el-titol-de-ciutat>> [Consulta: 6 noviembre 2021]
- AJUNTAMENT DE SOLSONA. *Solsona en el moment present* [En línea]. <<https://www.ajsolsona.cat/la-ciutat/historia-i-tradicio/historia/solsona-en-el-moment-present>> [Consulta: 6 noviembre 2021]
- AJUNTAMENT DE SOLSONA. *Solsona en les guerres de Catalunya* [En línea]. <<https://www.ajsolsona.cat/la-ciutat/historia-i-tradicio/historia/solsona-en-les-guerres-de-catalunya>> [Consulta: 6 noviembre 2021]
- AMERICAN VISION WINDOWS. *How stained glass windows were made* [En línea]. <<https://www.americanvisionwindows.com/the-history-of-stained-glass-windows/>> [Consulta: 13 febrero 2021]
- BISBAT DE SOLSONA. *La Catedral: Història de la Catedral de Solsona* [En línea]. <<https://bisbatsolsona.cat/bisbat/catedral/>> [Consulta: 6 noviembre 2021]
- CORTÉS PIZANO, F. “El plomo en las vidrieras históricas: características, deterioro y conservación”. MINISTERIO DE CULTURA. *En La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. ISBN 978-84-8181-461-3
- CORTÉS PIZANO, F. *Principales actuaciones en la Conservación-Restauración de Vidrieras*. Ge-conservación, 8: 2015. ISSN 1989-8568.
- FERNANDEZ, J.M. *Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección*. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC: Madrid, 1996, p. 12.
- GARCÍA, M. y VILLEGAS, M.A. *Notas para el estudio científico del vidrio antiguo*. Universidad de Salamanca: Zephyrus, 57, 2004, p. 385-386.
- HISTORY OF GLASS. *History of glass* [En línea]. <<http://www.historyofglass.com/>> [Consulta: 5 febrero 2022]
- LEISSNER, J. “El efecto de la corrosión sobre las vidrieras”. A: CORZO, M.A., VALENTÍN, N. (coord.). *Conservación de vidrieras históricas: Análisis y diagnóstico de su deterioro. Restauración*. Santander: Getty Conservation Institute, 1994, p. 132 – 138. ISBN 0-89236-492-0.
- MARÍN ORTEGA, S. Nuevas metodologías para la eliminación de la corrosión en patrimonio metálico arqueológico: buffers, quelantes, geles y emulsiones. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 2021. [En prensa].
- MARÍN ORTEGA, S. *Sistemes de neteja: mètode aquós. Buffers, quelants, gels, emulsions i materials silicònics*. En Teoria i pràctica de la conservació i restauració de béns arqueològics I. [Power Point].
- MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION. *Manuel de conservation, restauration et création de vitraux*. Paris: 2006, p. 5 - 115. ISBN 2-11-094665-2.

- RAGUIN, V. *Conservation and Restoration of Stained Glass – An owner’s Guide*. Chapter twelve.
- RAUCH, I. “The conservation and restoration of historical stained and painted glass: an introduction to the problems”. *Corpus Vitrearum* [En línea]. <<https://www.cvma.ac.uk/conserv/cleaning.html>> [Consulta: 18 septiembre 2021]
- REPRESA BERMEJO, I. “La estética de las vidrieras y de su degradación”. En: THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE. *Conservación de vidrieras históricas. Análisis y diagnóstico de su deterioro. Restauración*. Santander: 1994, p. 55-71. ISBN 0-89236-492-0
- ROEMICH, H. y VAN LOOKEREN, K. *Recent advances in glass, stained-glass and ceramics conservation*. Netherlands: SPA Uitgevers.
- ROMANI VITRUM. *Sobre la industria del vidrio según Plinio el Viejo* [En línea]. <<https://romanivitrums.wordpress.com/2016/10/14/sobre-la-industria-del-vidrio-segun-plinio-el-viejo/>> [Consulta: 5 febrero 2022]
- ROMICH, H. [et al.]. “Conservation. Cleaning: a balancing act”. *Corpus Vitrearum* [En línea]. <<https://www.cvma.ac.uk/conserv/cleaning.html>> [Consulta: 18 septiembre 2021]
- SMITHSONIAN MAGAZINE. *A brief scientific history of glass* [En línea]. <<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/a-brief-scientific-history-of-glass-180979117/>> [Consulta: 5 febrero 2022]
- VANDEN, Y. *Les Vitraux Anciens*. Chapitre neuf, p. 127- 139.
- VILLEGAS, M.A. y DURÁN, J.A. *Procesos de alteración y conservación de la escultura en vidrio*. *Ge-conservación*, 17: 2020, p. 128-129. ISSN 1989-8568.
- WHALL, C.W. *The artistic crafts series of technical handbooks: Stained glass work*. Londres: D. Appleton & Co, 1905.





*Imagen 31. Motivo central del vitral. Realizado por Lucía Ponce.*



*Imagen 32. Decoración de guirnalda que envuelve el motivo central del vitral.*

## Ficha de intervenció con número de registro A3.11.1610

1	Materials arqueològics
2	Materials d'arxiu i gràfics
3	Materials tèxtils
4	Pintures murals
5	Pintura sobre tela
6	Escultura
7	Pintura sobre fusta
8	Materials etnològics
9	Diversos

<b>NOM DE L'OBJECTE</b> Vitrall de la Catedral de Solsona				
<b>MATÈRIA-TÈCNICA</b> Vidre Vitrall				
<b>AUTOR-ÈPOCA-LLOC</b> Autor desconegut Segle XIX Catedral de Solsona				
<b>DIMENSIONS</b> 129 cm x 65 cm x 3,5 cm.				
<b>TEMA-DESCRIPCIÓ-TÍTOL</b> Vitrall de la Catedral de Solsona				
<b>PROCEDÈNCIA-LOCALITZACIÓ-NÚM. D'INVENTARI</b> Catedral de Solsona Museu Diocesà i Comarcal de Solsona Número d'inventari: Vitrall 1882-1				
<b>LLIURAT PER</b> Luís Prat		<b>DATA</b> 30/01/2019	<b>INICI TRACTAMENT</b> Abril de 2019	<b>FINAL</b> 7-6-2021
<b>TORNAT A</b> Carles Freixes	<b>PER</b> Silvia Marín	<b>DATA</b> 6/09/2021	<b>RESTAURADOR/A</b> Lucía Ponce	<b>SIGNATURA</b> 

### FOTOGRAFIES ABANS DEL TRACTAMENT



Imatge 1. Fotografia inicial cara A. Autora: Lucía Ponce



Imatge 2. Fotografia inicial cara B. Autora: Lucía Ponce

## DOCUMENTACIÓ GRÀFICA

### FOTOGRAFIES COMPLEMENTÀRIES INICIALS



*Imatge 1. Detall de les restes de morter.*



*Imatge 2. Detall dels dipòsits superficials: terra, pols, crosta, restes vegetals i resta animal.*



*Imatge 3. Detall de la corrosió del bastidor.*

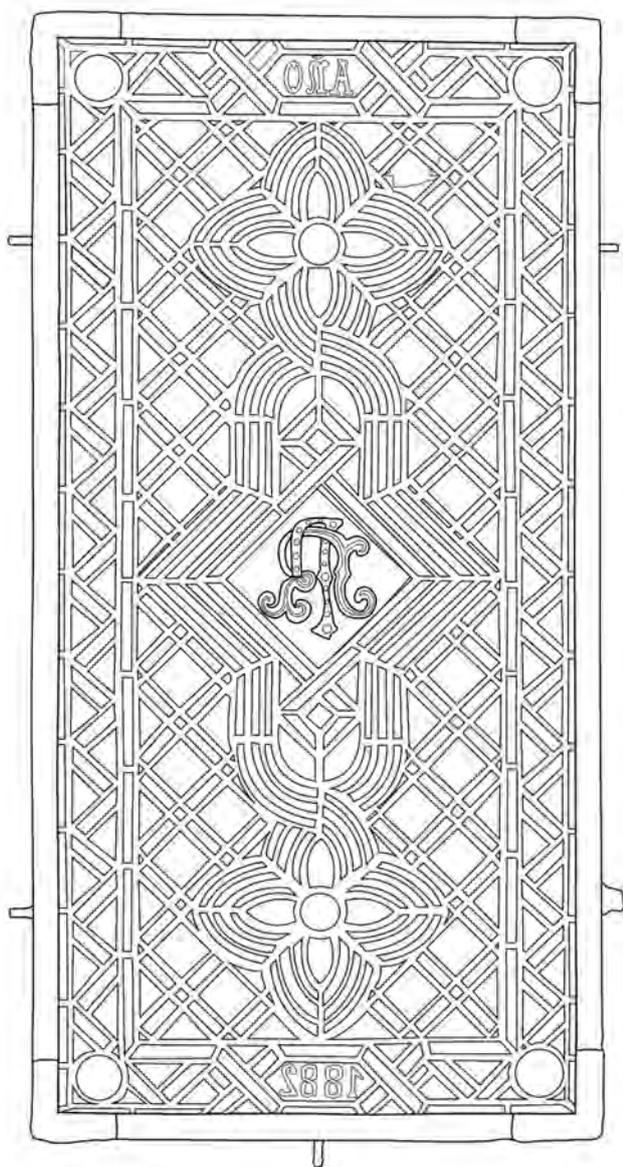


*Imatge 4. Detall de trencament i corrosió dels ploms del vitrall.*

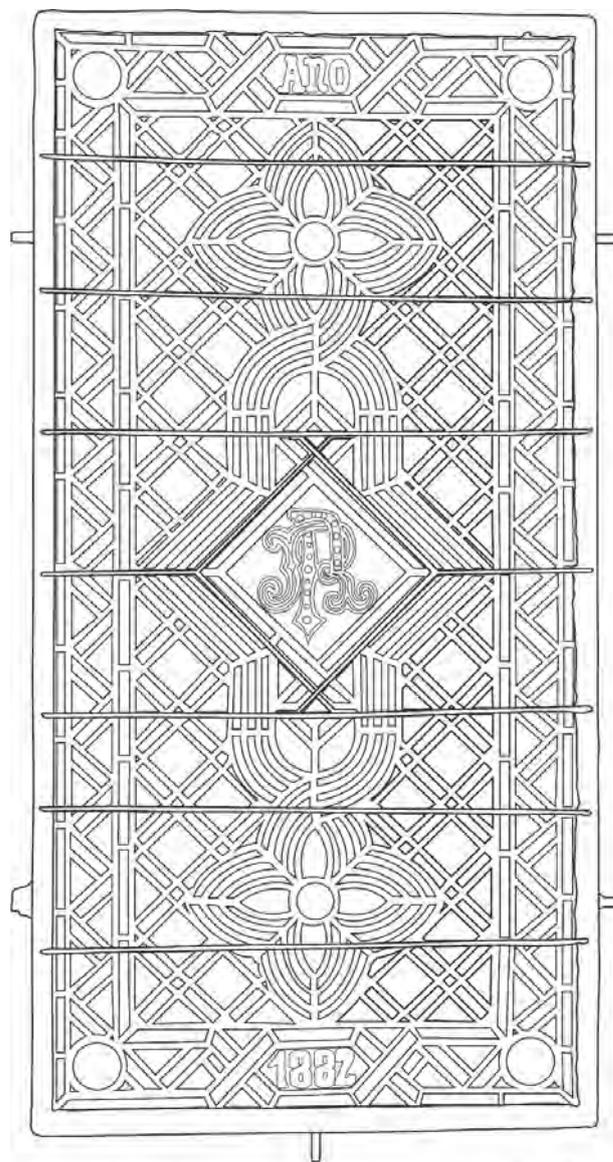


*Imatge 5. Detall d'absència matèrica així com del plom trencat i deformat.*

DIBUIX ARQUEOLÒGIC



Imatge 8. Dibuix arqueològic del vitrall per la cara A. Realitzat per Lucía Ponce.



Imatge 9. Dibuix arqueològic del vitrall per la cara B. Realitzat per Lucía Ponce.

## EXAMEN ORGANOLÈPTIC I DIAGNÒSTIC

### SUPPORT

#### Identificació

Vitrall compost per: bastidor, marc, travessers, màstic, plom, vidre, grisalla, cargols de subjecció.

#### Descripció

La superfície és llisa i no porosa. Ferro amb corrosió en forma d'òxids de ferro de manera uniforme a tota la superfície. Esquerdes, fissures, trencaments i absència matèrica.

Bastidor: corrosió en forma d'òxid de ferro. La corrosió es presenta de manera uniforme a tota la superfície.

Màstic: esquerdat i aixecat (a la zona inferior), degradat amb resta de morter

Plom: corrosió en forma d'òxids de plom de manera uniforme a tota la superfície i trencament i deformació en alguna zona puntual.

Vidre: corrosió en forma de brillantor i guany d'opacitat (vidre nuvolós) a tota la superfície. Fractures/esquerdes a diferents zones i absència matèrica a una mateixa àrea.

Grisalla: punts de pèrdua.

Cargols de subjecció: corrosió en forma d'òxid de ferro. La corrosió es presenta de manera uniforme a tota la superfície.

#### Estat de conservació i causes

Estat de conservació: dolent.

El suport presenta absència matèrica, trencaments, esquerdes i corrosió: La superfície presenta absència de vidre, trencament i deformació del plom a la part superior central degut possiblement a un cop a la zona i fragmentació tant de vidre com de plom en petites zones puntuals. La corrosió del ferro es troba a tot el bastidor, als cargols de subjecció i als travessers.

### DIPOSITS SUPERFICIALS

#### Identificació

Pols, brutícia, concrecions calcàries, palla, restes vegetals, restes animals, calç, pintura i morter.

#### Descripció

Bastidor: restes de morter.

Màstic: restes de morter.

Cargols de subjecció: restes de morter.

Vidre: dipòsit superficial pols, brutícia, concrecions calcàries, palla, restes vegetals, insectes, pèrdua de brillantor i amb crosta, restes de calç o pintura.

Cara A: capa homogènia de pols i brutícia. De la meitat cap a baix hi ha concrecions calcàries. S'hi troben 2 insectes a la part superior del vitrall i restes vegetals a les vores del vitrall possiblement utilitzat abans com a protecció del vidre.

Cara B: capa homogènia de pols i brutícia amb alguna resta de palla. A la part inferior es poden observar restes de calç i pintura possiblement d'estar recolzat a la paret.

#### Estat de conservació i causes

Estat de conservació: dolent.

El suport presenta una sèrie de dipòsits superficials que no permeten la visualització correcta del vidre.

### CAPES DE SUPERFÍCIE-PROTECCIÓ (vernissos, capes de protecció...)

Identificació

Descripció

Estat de conservació i causes

### ELEMENTS AFEGITS

Identificació

Descripció

Estat de conservació i causes

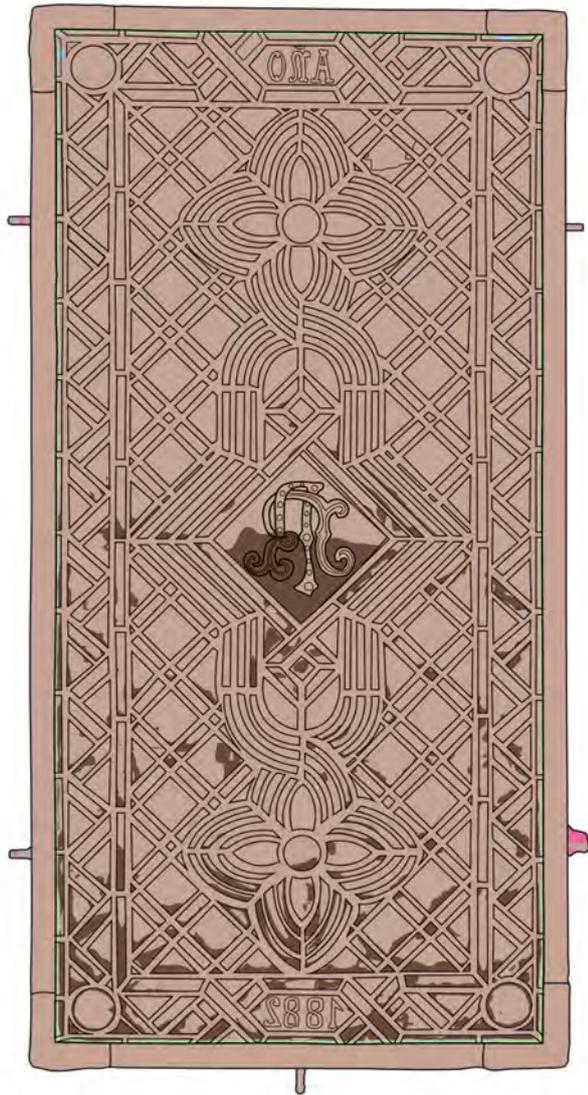
### ANNEXOS

Identificació

Descripció

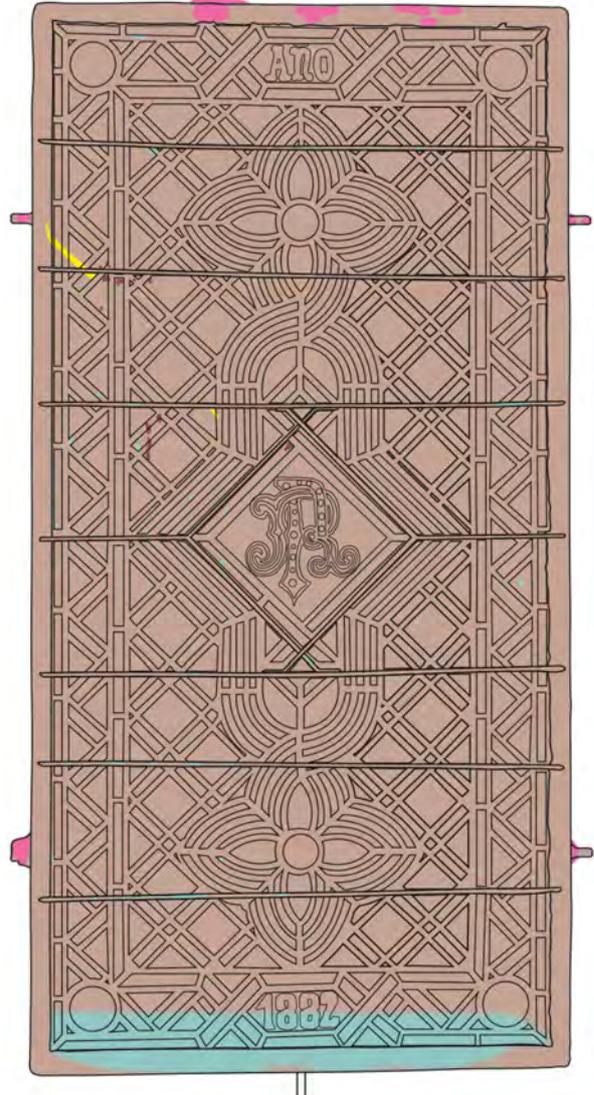
Estat de conservació i causes

MAPES D'ALTERACIONS  
DIPÒSITS SUPERFICIALS



Llegenda	
● Pols i brutícia	● Restes animals (bitxos)
● Concrecions calcàries	● Restes vegetals
● Morter	

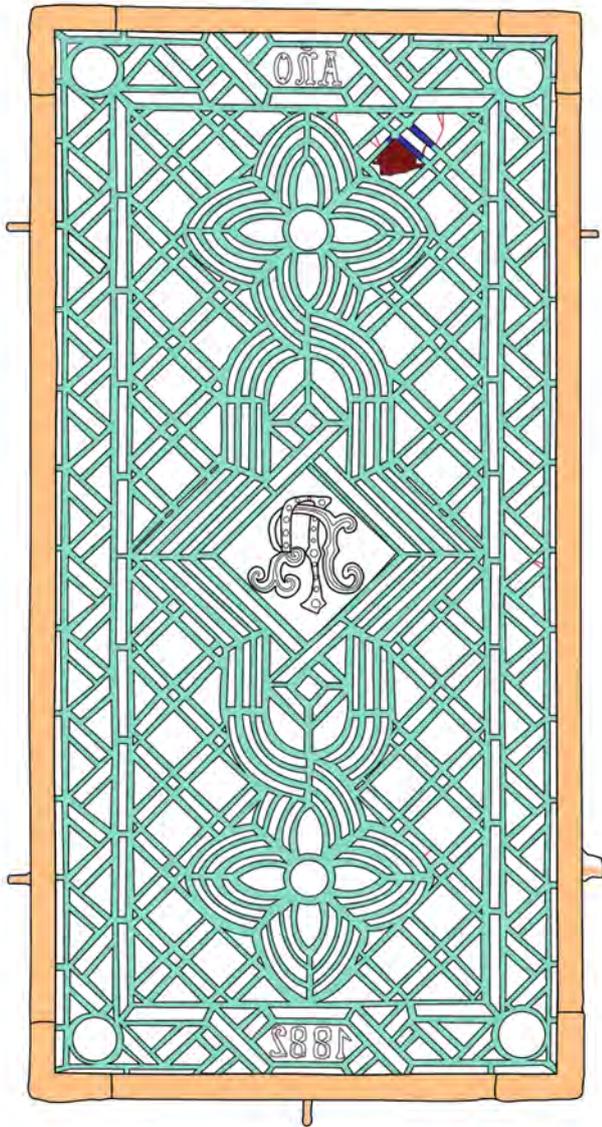
Imatge 10. Mapa d'alteracions de dipòsits superficials de la cara A del vitrall. Realitzat per: Lucía Ponce Cerezo.



Llegenda	
● Pols i brutícia	● Calç
● Morter	● Pintura
● Palla	

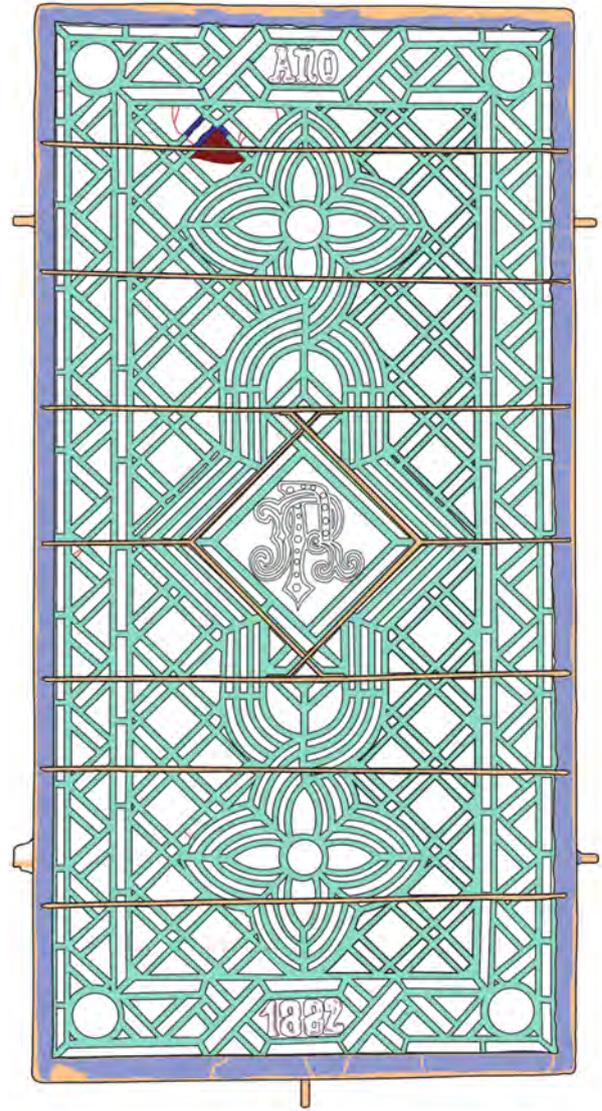
Imatge 11. Mapa d'alteracions de dipòsits superficials de la cara B del vitrall. Realitzat per: Lucía Ponce Cerezo.

## ALTERACIONS DEL SUPORT



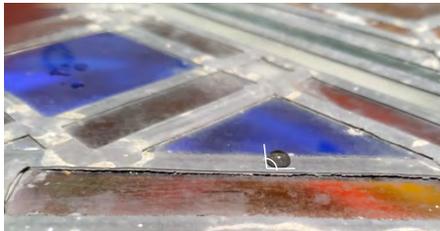
Llegenda			
	Òxid de ferro		Esquerdes i fissures del vidre
	Òxid de plom		Trencament i deformació del plom
	Llacuna del vidre		Pèrdua de grisalla

Imatge 12. Mapa d'alteracions del suport de la cara A del vitrall. Realitzat per: Lucía Ponce Cerezo.



Llegenda			
	Òxid de ferro		Esquerdes i fissures del vidre
	Òxid de plom		Trencament i deformació del plom
	Llacuna del vidre		Pèrdua de grisalla
	Màstic esquerdat		

Imatge 13. Mapa d'alteracions del suport de la cara B del vitrall. Realitzat per: Lucía Ponce Cerezo.

ANÀLISIS FÍSICOQUÍMIQUES		
MACROSCÒPIA		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS
MICROSCÒPIA		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS
ANÀLISIS A LA GOTA- ANGLE DE CONTACTE-SOLUBILITAT		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS
<p>Amb la anàlisi a la gota s'observa la capacitat d'absorció de la superfície a tractar. Segons l'angle que forma la gota es podrà dir que la superfície és propensa a l'absorció (angle inferior a 90°) o no (angle superior a 90°).</p>		<p>Tant les gotes al plom com al vidre presenten un angle superior a 90° el qual ens indica que el líquid no penetra el sòlid, apreciand així que no hi ha absorció.</p>
LLUM RASANT		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS

LLUM TRANSMESA																		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS																
LLUM ULTRAVIOLADA																		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS																
CONDUCTIVITAT																		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS																
<p>Per mesurar la conductivitat s'ha preparat un gel d'agarosa de baix EEO al 5% en aigua desionitzada fins fer 25ml. Una vegada el gel està fet s'ha ficat en una placa creant un gruix d'1 mm aproximadament i s'ha deixat refredar. S'han tallat 3 circumferències de la mida de l'elèctrode del conductímetre i s'han ficat sobre diferents punts de la peça durant 20 minuts. Després amb el conductímetre s'ha mesurat la seva conductivitat.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>µS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>174</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>160</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>µS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>159</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>173</td> </tr> </tbody> </table> <p>Els resultats mostren uns nivells de sals solubles normals per a les capes de superfície i alteracions.</p>	Nº	µS	1	174	2	130	3	160	Nº	µS	A	360	B	159	C	173
Nº	µS																	
1	174																	
2	130																	
3	160																	
Nº	µS																	
A	360																	
B	159																	
C	173																	
pH																		
DESCRIPCIÓ	ÀREES EXAMINADES	RESULTATS I CONCLUSIONS																
<p>Per mesurar el pH s'ha preparat un gel d'agarosa de baix EEO al 5% en aigua desionitzada fins fer 25ml. Una vegada el gel està fet s'ha ficat en una placa creant un gruix d'1mm aproximadament i s'ha deixat refredar. S'han tallat 3 circumferències de la mida del pHmetre i s'han ficat sobre diferents punts de la peça durant 20 minuts. Després amb el pHmetre s'ha mesurat el seu pH.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>6.60</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5.9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6.5</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>6.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>Els resultats mostren un suport lleugerament acidificat amb valors mínims de 5,9 i màxims de 6,6pH.</p>	Nº	pH	1	6.60	2	5.9	3	6.5	Nº	pH	A	6.4	B	6.4	C	6.3
Nº	pH																	
1	6.60																	
2	5.9																	
3	6.5																	
Nº	pH																	
A	6.4																	
B	6.4																	
C	6.3																	

## CONCLUSIONS

Tenint en compte l'estat de conservació de la peça i les degradacions que presenta el vitrall, és necessari realitzar un procés de conservació-restauració per tal d'aturar i evitar processos de degradació presents i futurs així com recuperar la correcta lectura d'aquesta que es troba alterada a causa de dipòsits aliens a la peça.

S'aplicarà un criteri arqueològic/museístic limitant-nos a la neteja i estabilització del suport metàl·lic així com a la consolidació d'aquelles parts que ho requereixin. A més és realitzarà una neteja del vidre, es reforçaran les zones trencades i es farà una restauració del vidre absent.

Per la seva naturalesa sensible a les condicions ambientals s'aplicaran també una sèrie de mesures de conservació preventiva passiva en un embalatge estable per tal que arribi bé al seu destí.

## PROPOSTA DE RESTAURACIÓ

El procés serà el següent:

1. Neteja mecànica en sec dels dipòsits superficials
2. Eliminació de les restes de morter
3. Eliminació de la corrosió del ferro amb neteja mecànica
4. Eliminació de crostes o escates de corrosió amb procediment mecànic
5. Eliminació dels dipòsits superficials més adherits, de la corrosió del plom, de les soldadures i de crostes o escates de corrosió amb procediment aquós-químic (*buffers* i *buffers* amb quelant)
6. Aplanament i correcció de les deformacions dels ploms
7. Unió i consolidació de fragments
8. Reintegració matèrica i cromàtica
9. Consolidació del màstic
10. Embalatge i condicions de conservació preventiva

## PROCÉS CONSERVACIÓ-RESTAURACIÓ

## MATERIALS-PROPORCIONS

- 1. Neteja mecànica en sec dels dipòsits superficials.** Amb una paletina i un aspirador s'ha netejat la brutícia superficial de les dues cares del vitrall. S'han extret les restes vegetals i les restes animals que hi havia.

Una vegada finalitzada la neteja mecànica s'ha procedit a mesurar la conductivitat i el pH de la peça tal i com s'ha indicat a la pàgina 8.

- 2. Eliminació de les restes de morter.** S'han extret les restes de morter que hi havia al bastidor del vitrall donant cops amb l'ajuda d'un tornavís i un martell.



Imatge 14. Eliminació de les restes de morter amb tornavís i martell.

- 3. Eliminació de la corrosió del ferro amb neteja mecànica.** S'ha eliminat la corrosió de tot el ferro, tant del bastidor i dels cargols com dels travessers, fent una microabració amb un microtorn de punta de fresadora i amb l'aspirador s'ha anat netejant la superfície. S'han aplicat varies capes de protecció amb àcid tànic per tota la superfície del ferro.



Imatge 15. Eliminació de la corrosió del ferro amb microtorn de punta de fresadora.



Imatge 16. Comparació de la zona corroïda amb la zona on s'ha eliminat la corrosió.

- 4. Eliminació de crostes o escates de corrosió amb procediment mecànic.** Amb un bisturí s'han eliminat les zones on hi havia crostes de corrosió. Quan la crosta estava ben adherida a la superfície s'ha optat per estovar amb un *buffer* quelant amb DTPA.

1. Paletina, aspirador.  
Agarosa de baix EEO al 5% en aigua desionitzada.

2. Martell, tornavís.

3. Microtorn amb punta de fresadora de corindó, aspirador, àcid tànic al 5% en etanol.

4. Bisturí.  
Borat sòdic amb quelant DTPA: Àcid bòric al 0,2%, DTPA al 2 % i NaOH fins fer 8,8pH i una conductivitat de 10200µs.

5. **Eliminació dels dipòsits superficials més adherits, de la corrosió del plom, de les soldadures i de crostes o escates de corrosió amb procediment aquós-químic (buffers i buffers amb quelant).** S'ha fet una neteja físicquímica per tota la superfície del vidre i del plom amb un *buffer* quelant amb DTPA al qual s'ha variat la concentració de DTPA segons el resultat que es volia aconseguir. Per a una millor eliminació dels dipòsits superficials s'ha preparat un gel d'agar del *buffer* quelant amb DTPA. Les aplicacions s'han fet entre 1 i 2 hores per tal de que actués bé.

Després de treure cada gel s'ha passat aigua desionitzada per esbandir la peça i un hisop sec.



*Imatge 17. Neteja dels dipòsits superficials amb procediment aquós-químic.*



*Imatge 18. Neteja dels dipòsits superficials amb procediment aquós-químic amb gel d'Agar.*

6. **Aplanament i correcció de les deformacions dels ploms.** S'han tancat les ales del plom deformat amb una tingla.

S'ha ajustat la longitud d'uns ploms que estaven deformats degut a un cop i es superposaven. Per ajustar la longitud s'ha tallat amb un bisturí el plom que estava en pitjors condicions fins que quedava ajustat a l'altre part del plom.



*Imatge 19. Aplanament amb tingla d'un plom deformat.*

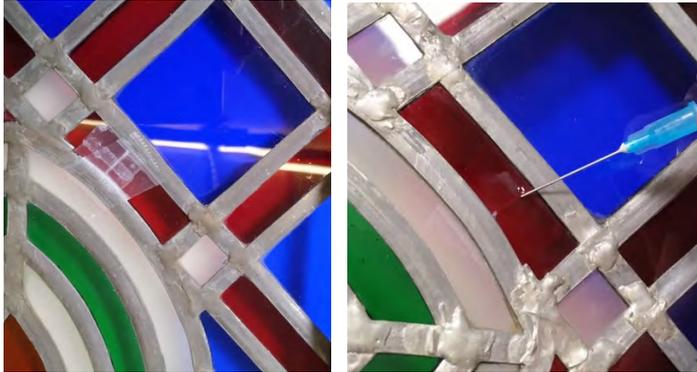
5. Borat sòdic amb quelant DTPA: Àcid bòric al 0,2%, DTPA al 2 % i NaOH fins fer 8,8pH i una conductivitat de 10200µs.  
Borat sòdic amb quelant DTPA: Àcid bòric al 0,2%, DTPA al 3 % i NaOH fins fer 8,8pH i una conductivitat de 10100µs.  
Borat sòdic amb quelant DTPA: Àcid bòric al 0,2%, DTPA al 4 % i NaOH fins fer 8,8pH. Agar (Agarart®) al 4% en borat sòdic amb quelant DTPA al 2%. Agar (Agarart®) al 4% en borat sòdic amb quelant DTPA al 3%.

6. Tingla, bisturí, tingla.

7. **Unió i consolidació de fragments.** S'han enganxat els trossos de vidre que coincidien amb cinta adhesiva reversible i cinta adhesiva més forta per aportar una bona unió.

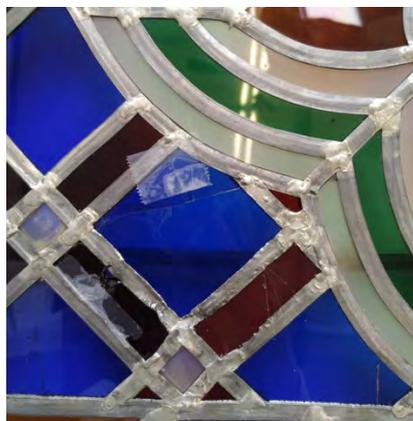
S'ha mantingut el vitrall en una posició adequada per poder col·locar els trossos de vidre al seu lloc corresponent fent una certa pressió i obrint més el plom si calia, sobretot a les vores on hi havia les soldadures d'aquest. S'han col·locat els trossos de vidre i s'ha tornat a baixar el plom amb la tingle.

Per a la consolidació dels fragments tant dels que s'han tornat a col·locar com dels vidres trencats que hi havia al vitrall s'ha fet amb una resina epoxídica bicomponent de gran transparència. Per un costat s'ha fet una barrera amb cinta adhesiva per tal de que no passés la resina i s'ha aplicat aquesta amb una agulla fina. S'ha deixat assecar i s'ha tret l'excés de resina amb un bisturí.



*Imatge 20. Unió i consolidació dels vidres trencats.*

8. **Reintegració matèrica i cromàtica.** S'ha fet una làmina de resina epoxídica bicomponent amb pigmentació blau ultramar. Per prendre bé les mesures s'ha agafat un metacrilat, s'ha ficat sobre la llacuna i s'ha marcat el límit de la llacuna. Amb aquest metacrilat com a model de mesura s'ha retallat la resina amb un bisturí calent i s'ha col·locat a la llacuna.



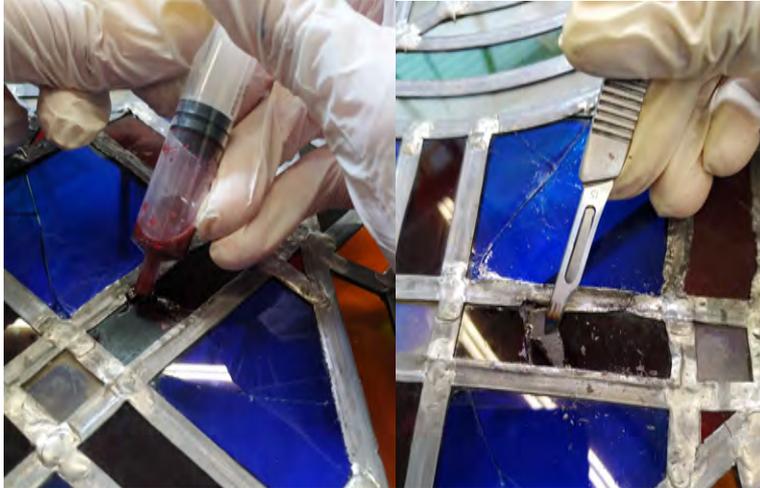
*Imatge 21. Procés de creació de la làmina de resina per tal de fer una reintegració matèrica.*

7. Cinta adhesiva reversible, "transparent manding tissue"®, tingle, bisturí, Araldite 2020 ®

8. Araldite 2020 ®, metacrilat, bisturí, cinta adhesiva, pigments (ultramar, laca vermella, vermell cadmi, negre), Gamvar Gloss ®

Amb la resina epoxídica bicomponent s'han acabat d'adherir els fragments i la resina blava de manera que s'han tapat els petits forats que quedaven.

D'altra banda, una petita llacuna que hi havia a un rectangle vermell s'ha reintegrat per colada amb la mateixa resina tenyint-la del to més proper al desitjat. Degut a unes complicacions, la resina per colada s'ha hagut d'espesir una mica amb una sílice coloidal anhidra i s'ha aplicat amb l'ajuda de una espàtula. Un cop seca aquesta capa de resina vermella s'ha hagut de tallar a nivell amb el vidre emprant un bisturí calent.



*Imatge 22. Reintegració matèrica i cromàtica per colada i anivellament amb bisturí.*

Degut a un resultat no gaire desitjat de la resina blava s'ha decidit aplicar vernís brillant per tal de dissimular els defectes que aquesta presentava. De la mateix manera s'ha fet amb la resina vermella per tal de donar-li brillantor.



*Imatge 23. Resultat de l'aplicació de vernís brillant a la reintegració de resina blava.*

- 9. Consolidació del màstic.** S'ha fet un reforçament del morter que es va despendre dels màstics adherint-lo amb un adhesiu bicomponent.

9. Araldite ®



*Imatge 24. Reforçament del morter.*

- 10. Embalatge i condicions de conservació preventiva.** Per poder afavorir la bona conservació del vitrall fins el seu destí s'han adoptat unes mesures protectores. S'ha retallat i ajustat escuma de polietilè per a cada cargol del vitrall per tal de no patir cap cop que pugui afavorir una mala conservació.

10. Escuma de polietilè, plàstic de bombolles, cinta de pintor.

S'han retallat varies làmines de plàstic de bombolles de la mida del vitrall i s'ha col·locat a sobre per tal d'aportar més protecció. A les vores s'ha ficat plàstic de bombolles doblegat per tal d'amortitzar millor els possibles cops que pugui rebre. Aquest plàstic de bombolles s'ha fixat amb cinta de pintor.

Per últim s'ha embolicat el vitrall sencer en 3 capes per cada costat de plàstic de bombolles i s'han tancat bé les obertures amb cinta de pintor.



*Imatge 25. Procés d'embalatge del vitrall.*

\* EPIS: guants, bata, mascareta

FOTOGRAFIES DESPRÉS DEL TRACTAMENT



Imatge 26. Fotografia final del vitrall per la cara A. Autora: Lucía Ponce.



Imatge 27. Fotografia final del vitrall per la cara B. Autora: Lucía Ponce.

**INTERVENCIONS ANTERIORS (RESTAURADORS)**

**CONDICIONS AMBIENTALS INDISPENSABLES DESPRÉS DEL TRACTAMENT**

Humitat Relativa: 45-50%  
Temperatura: 18-20°C  
Lux: 150. Evitant els raig UV.  
Conservació preventiva: atmosfera seca i neta de pols

**SEGUIMENT DESPRÉS DEL TRACTAMENT**

Seguiment cada 6 mesos

DATA	OBSERVACIONS
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## OBSERVACIONES

## BIBLIOGRAFIA

- LEISSNER, J. “El efecto de la corrosión sobre las vidrieras”. A: CORZO, M.A., VALENTÍN, N. (coord..). *Conservación de vidrieras históricas: Análisis y diagnóstico de su deterioro. Restauración*. Santander: Getty Conservation Institute, 1994, p. 132-138. ISBN 0-89236-492-0.
- RÖMICH, H. i FUCHS, D.R. “Nuevos materiales para la conservación de vidrieras”. A: CORZO, M.A., VALENTÍN, N. (coord..). *Conservación de vidrieras históricas: Análisis y diagnóstico de su deterioro. Restauración*. Santander: Getty Conservation Institute, 1994, p. 174-186. ISBN 0-89236-492-0.
- WHALL, C.W. The artistic crafts series of technical handbooks: stained glass work. Londres: D. Appleton & Co, 1905.