

El plomo en las vidrieras históricas:

Características, deterioro y conservación

Fernando Cortés Pizano

Junio 2008

Introducción

Las vidrieras tradicionales occidentales están formadas por tres materiales principales: el vidrio, el plomo y un tercer elemento, a menudo presente pero no siempre imprescindible, que son las pinturas fundibles aplicadas sobre los vidrios. Esta sencilla y exitosa combinación de elementos ha producido algunas de las obras de arte más bellas de nuestros edificios históricos religiosos desde el siglo XII la actualidad.

El vidrio, evidentemente, es el material más importante dado que es el que define la esencia de una vidriera. Las pinturas fundibles, por su parte, se aplican opcionalmente sobre la superficie del vidrio para representar figuras, motivos, escenas, etc., y es generalmente a través de ellas donde podemos apreciar más directamente la mano del maestro vidriero. Estos vidrios pintados son posteriormente introducidos en el horno, a una temperatura que oscila entre los 580 y 630°C, para que las grisallas, amarillos de plata, carnaciones o esmaltes puedan ser cocidos. Por último, el plomo, a pesar de la escasa importancia que generalmente se le suele conceder, es un elemento de gran importancia en una vidriera y no solamente por su evidente función práctica sino también por su interesante potencial estético.

Si bien el plomo en forma de perfiles en “H” ha sido tradicionalmente el material utilizado de forma casi exclusiva para la sujeción y separación entre los diferentes vidrios, es importante destacar que existen otros materiales que cumplen esta función, como son los bastidores o perfiles de metal o de madera, los perfiles de hojalata y las celosías de madera, metal o escayola. Asimismo, desde finales del siglo XIX aparecieron en las vidrieras otros elementos alternativos que desarrollaban la misma función que el plomo, como los perfiles de plomo recubierto de latón o cobre, la cinta de cobre estañada (comúnmente llamada técnica Tiffany), el hormigón, las resinas, etc.

En cualquier caso, y dejando a un lado las técnicas alternativas mencionadas, no cabe duda que los perfiles de plomo han sido y siguen siendo en la actualidad el principal sistema utilizado por los vidrieros para realizar el ensamblaje de las distintas piezas de vidrio, por lo que a lo largo de este estudio nos centraremos exclusivamente en las particularidades del plomo y la técnica de la vidriera emplomada.

Propiedades y ventajas del plomo

Durante muchos siglos, sin gran competencia de otros materiales, el plomo y el estaño han funcionado como los principales elementos utilizados por los vidrieros para el ensamblaje de los vidrios de las vidrieras. Los motivos principales de la predilección de estos dos metales sobre otros materiales son principalmente:

- la maleabilidad (capacidad de ser modelado sin romperse), ductilidad (capacidad de ser estirado sin romperse) y flexibilidad (capacidad de ser fácilmente doblado sin romperse) del plomo, que permite trabajarlo a mano y adaptarlo fácilmente los contornos de los vidrios y, una vez transformado en un panel, doblarse sin romperse ante los empujes del viento y de las corrientes en el interior del edificio.
- el bajo punto de fusión del plomo (327°C) y el estaño de soldar (183°C), permite trabajarlo sin mayores complicaciones en cualquier taller de vidriero.
- su reducido coste en comparación con otros metales.
- su mala conductividad de la temperatura, lo que supone una protección y aislamiento para el vidrio.
- la formación de una película protectora de oxidación y su alta resistencia a la corrosión (especialmente del plomo) que permite su permanencia al exterior durante siglos.

Estas propiedades mencionadas permiten que las vidrieras puedan resistir durante siglos a la intemperie, actuando como auténticas barreras de vidrio y plomo que aíslan el interior edificio de las adversidades del clima exterior, soportando altas y bajas temperaturas, lluvia, granizo, viento, etc. Una lámina de vidrio de entre 2mm de grosor y de unos 80cm² –medidas más habituales en las láminas de vidrio con las que tradicionalmente se han confeccionado las vidrieras- no podría soportar sin romperse los empujes del viento ni demás presiones procedentes del exterior del edificio. El éxito de la relativa resistencia de las vidrieras emplomadas consiste por tanto en el despiece adecuado de las láminas de vidrio en pequeñas piezas que, una vez emplomadas, pueden resistir durante siglos las tensiones y agresiones a las que se ven expuestas.

Composición del plomo y el estaño utilizado en las vidrieras

El plomo es un metal pesado de color gris mate azulado, blando y pesado, de una densidad relativa de 11,4 a 16°C, que funde a 327,4°C y cuya estructura interna es cristalina. El plomo en su estado puro contiene una serie de impurezas que pueden ser tanto accidentales como añadidas de forma voluntaria, siendo las más importantes la plata (Ag), el estaño (Sn), el antimonio (Sb), el Cobre (Cu), el bismuto (Bi), el zinc (Zn) el hierro (Fe) o el arsénico (As). La cantidad de estos metales traza puede variar considerablemente de una época a otra, si bien se encuentra generalmente entre el 1 y el 5% de la composición total del plomo. Por lo que respecta la estructura cristalográfica del plomo, podemos deducir que cuanto menor es la

presencia de estos otros metales, más grandes son los cristales de estructura interna del plomo¹. El proceso de eliminación de impurezas ya era conocido en Egipto y más tarde en Grecia y Roma. Las impurezas contenidas en los plomos históricos de las vidrieras eran debidas principalmente a tres motivos: un refinado insuficiente, la recogida accidental de impurezas durante su fusión y el reciclaje de las redes de plomo de antiguas vidrieras².

El plomo utilizado en las vidrieras de la Edad Media contiene una mayor cantidad de impurezas que los plomos más modernos. A partir de 1833, y como consecuencia del perfeccionamiento del sistema de eliminación de impurezas –especialmente de la extracción de la plata-, se empezó a producir un plomo más refinado pero a menudo de peor calidad que el de las vidrieras de siglos anteriores con un contenido más elevado de plata. En líneas generales podríamos decir que el plomo químicamente más puro producido en las vidrieras más recientes está compuesto por cristales más grandes (diámetro medio de 77µm) que los que encontramos en los plomos medievales (diámetro medio entre 10 y 30µm).

Por lo que respecta al estaño utilizado por los vidrieros para soldar los diferentes perfiles de plomo y que actúa por tanto como metal de aportación, éste está constituido básicamente por una aleación de plomo y estaño. Dado que el punto de fusión del estaño puro es relativamente alto -alrededor de los 232°C- se le añade plomo para rebajarlo, creándose así una aleación de estaño y plomo cuyo punto de fusión es sensiblemente inferior -184°C- Tradicionalmente, las proporciones de mezcla de estos dos metales podían variar sustancialmente de un vidriero a otro, por lo que en las soldaduras de estaño conservadas en las vidrieras de otras épocas podemos encontrar grandes diferencias en su estado de conservación y por tanto en el estado general de la vidriera.

Hoy en día, el estaño utilizado para soldar los plomos de las vidrieras ya no lo fabrican los vidrieros como se hacía tradicionalmente y puede obtenerse en diferentes formatos y proporciones de mezcla. El tipo de estaño más usado en general es el que contiene un 60% de estaño y un 40% de plomo, tiene un punto de fusión de 183°C y es suministrado en forma de finas varillas o lingotes de unos 40cm de longitud y de entre 3 y 6mm de diámetro.

Los peligros del plomo para la salud

Como es bien sabido, uno de los principales inconvenientes del trabajo con el plomo es su elevada toxicidad. Ya desde hace siglos la intoxicación aguda por plomo se conoce como Saturnismo. El plomo es un metal que puede entrar en el organismo humano al ser inhalado, ingerido o absorbido por la piel, que puede afectar a la mayoría de los órganos del cuerpo humano y cuyo efecto es acumulativo. El plomo entra en nuestro organismo principalmente por la inhalación de los humos o vapores emitidos por el estaño durante el proceso de soldadura de los paneles –recordemos que el estaño utilizado puede contener hasta

¹ En un estudio realizado con plomos de diferentes épocas históricas (ver Müller, W.), el tamaño de los cristales podía oscilar entre 8 y 65 µm de unos plomos a otros.

² El refundido de redes de plomo procedentes de antiguas vidrieras desemplomadas, y su posterior conversión en nuevos perfiles de plomo, se ha continuado practicando en algunos talleres europeos hasta hace pocos años, lo que puede tener como resultado perfiles de plomo con una cantidad de estaño mayor de lo habitual.

un 60% de plomo- o malos hábitos de higiene como comer o fumar con las manos sucias de plomo. Sus efectos negativos dependerán de la cantidad de plomo presente en nuestro organismo y del tiempo de exposición. Los niveles de absorción se incrementan generalmente como consecuencia de las malas prácticas laborales, tales como lugares de trabajo mal ventilados o poco limpios, el no usar o usar indebidamente los sistemas de protección personal y unos malos hábitos de higiene.

Una vez en nuestro organismo, el plomo circula en la sangre unido a los glóbulos rojos y posteriormente se distribuye a los tejidos del hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central, almacenándose en las siguientes proporciones: 95% en los huesos largos, 4% en los tejidos blandos (cerebro, hígado, riñones...) y 1% en la sangre. "Algunos de los síntomas más comunes de intoxicación por plomo son: dolor de cabeza, vértigo, vómitos, diarreas, fatiga, migrañas, cefalea, psicosis, delirios de grandeza e insomnio o pérdida del sueño, registrándose casos donde se perdió la etapa de R.E.M. (Rapid Eye Movement). En los casos agudos, por lo común se presenta estupor o convulsiones, el cual progresa hasta el coma y termina en la muerte"³.

Elaboración de los perfiles de plomo para vidrieras

Los plomos utilizados en las vidrieras suelen ser básicamente perfiles o vergas de sección en "H" o, como dicen algunos vidrieros, de doble "U". En ocasiones particulares y para aplicaciones menos frecuentes existen perfiles con una gran variedad de formas, como los perfiles de perfil en "U" –para cerrar el perímetro exterior de un panel- o en "Y" –usados en faroles o vidrieras volumétricas-, con las alas recubiertas de cobre, latón o plata, reforzados en su interior con una varilla metálica, etc. En los perfiles en forma de "H" la parte interior y horizontal de la "H" se llama *alma* y es donde apoyan los vidrios, mientras que los dos laterales verticales se conocen como *alas* y su función es la de sujetar los vidrios, restándoles a la vez más o menos luz según su anchura.

Por lo que respecta a las medidas de los perfiles más comunes, el surco o canal interior suele tener unos 4 ó 5mm de ancho mientras que el ancho de las alas puede presentar una mayor variedad de medidas que oscilan entre los 3 y los 20mm, si bien en la mayoría de las vidrieras tradicionales la anchura de los plomos suelen estar entre 5 y 10mm. Estas medidas y formas no dejan de ser aproximadas ya que en realidad desde la Edad Media hasta la actualidad, si bien todos los plomos han tenido una forma que recuerda a una "H", podemos encontrar una gran variedad de formas en el alto y ancho de los perfiles, el grueso del alma, la curva y grosor de las alas, etc.

En los surcos de estos perfiles se insertan los vidrios, conformando una estructura autónoma –en un sentido constructivo y no artístico- en el conjunto de una vidriera que llamamos panel o paño. Si bien una vidriera puede estar formada por un único panel, lo más común es que sean varios⁴. Estos paneles emplomados pueden tener un tamaño muy variado que puede oscilar entre los 10cm² de algunos paneles

³ Fuente: Wikipedia.org

⁴ En algunos casos, como en la vidriera gótica de la fachada Este de la catedral de York en el Reino Unido, con sus 311 paneles, o la vidriera del techo de la sala de Juntas de Gernika, con 372 paneles, estas obras pueden alcanzar grandes proporciones.

de las tracerías góticas y los 150 o 200cm² de algunos paneles de los siglos XIX y XX. La unión de los diferentes plomos de los paneles se realiza mediante estaño y la impermeabilización de todo el conjunto al paso del agua mediante masilla insertada entre el plomo y el vidrio.

El proceso de fabricación del plomo utilizado en las vidrieras, desde los lingotes de metal en bruto, más o menos exentos de impurezas, hasta su conversión en perfiles en H, listos para ser utilizados para la confección de las vidrieras, se practica desde hace muchos siglos. Si bien no se han conservado ejemplares de plomo anteriores al siglo XII, seguramente los perfiles en H empezaron a utilizarse durante la Alta Edad Media, probablemente entre los siglos VI y VII⁵. El proceso tradicional de elaboración de los perfiles de plomo, el cual es similar al utilizado para las varillas de estaño, cambiando simplemente la forma del molde donde el metal es vertido, es, de forma resumida, el siguiente:

- *fundido del plomo y posterior colado en moldes*. El fundido del metal se realiza en crisoles de materiales refractarios. Tradicionalmente, los moldes donde se cuele el metal fundido podían ser de piedra⁶, madera o metal –este último siempre se ha mantenido como uno de los más utilizados- y podían tener uno o varios surcos o canales para la elaboración de varios perfiles simultáneamente. El tiempo de endurecimiento del plomo es realmente rápido por lo que en una sesión de trabajo se puede elaborar una gran cantidad de perfiles. Los perfiles resultantes –y por lo tanto el tamaño del molde- eran de unos 50cm de longitud.
- *desbastado de las alas*. Una vez fuera del molde, los perfiles presentan una serie de rebabas e imperfecciones en la parte central de las alas, debido al plomo fundido que se ha escapado ligeramente por las uniones de las dos mitades del molde. El proceso de limpiar o desbastar las alas de los plomos de imperfecciones se realizaba antiguamente –hasta la introducción del molinillo en la segunda mitad del siglo XV- mediante algún tipo de cuchilla metálica afilada, lo que le creaba sobre las alas el típico aspecto facetado de los plomos medievales.
- *estirado de los perfiles de plomo*. Una vez fuera del molde y desbastados, los perfiles de plomo son excesivamente cortos -50cm aproximadamente-, duros y gruesos para poder trabajar con ellos, por lo que necesitan ser estirados. Con este proceso se obtienen perfiles más largos y de formas más definidas. Tradicionalmente este proceso se realizaba de forma manual por lo que a menudo la calidad de los plomos obtenidos podía diferir notablemente. A partir de la segunda mitad del siglo XV, pero sobre todo de forma paulatina a lo largo del siglo XVI, se empezó a utilizar el molinillo o perfiladora de plomo con el que se podían conseguir plomos más homogéneos y de diferentes medidas –anchura de las alas y altura del alma- según las ruedas de calibrado que se utilizasen. El excesivo estirado de los perfiles de plomo por parte de algunos vidrieros de finales de la Edad Media condujo a una serie de gremios europeos a prohibir el estirado manual del plomo. A pesar de estos datos, en la actualidad disponemos de evidencias suficientes que nos inducen a pensar que el proceso de perfilado y estirado de los perfiles de plomo mediante el molinillo introducido a partir del siglo XVI y en uso hasta nuestros días, ha producido plomos más frágiles y de peor calidad que muchos de los plomos medievales que han llegado hasta nosotros.

⁵ En excavaciones realizadas en los monasterios ingleses de Monkwearmouth y Jarrow se encontraron junto a miles de fragmentos de vidrio plano de diferentes colores pero sin pinturas, restos de perfiles de plomo en H, datados en el último tercio del siglo VII dC.

⁶ El molde más antiguo conocido hasta la fecha, datado entre los siglos X y XI dC, fue hallado en Saint Denis (Francia) y es de piedra calcárea.

Las ruedas utilizadas para el transporte y estirado de los perfiles en un principio parece ser que eran lisas pero con el paso de los años se fueron grabando con unas incisiones para facilitar el arrastre del plomo. Estas muescas imprimían unas muescas dentadas y verticales sobre ambas caras del alma de los plomos y dejaban sobre las alas unas finas líneas longitudinales fruto de la presión ejercida durante el arrastre del perfil. A partir de los siglos XVII y XVIII los plomos empezaron a ser mucho más planos, finos. Para compensar la mayor fragilidad de estos plomos se les añade una especie de canales o rebordes salientes a lo largo de la parte exterior de las alas de los perfiles con el fin de conferirles mayor fuerza. A partir de estos siglos las dentaduras o muescas de las almas empiezan a hacerse más distanciadas entre sí y en ocasiones incluso diagonales con respecto al eje del perfil. Tanto las muescas del alma como las canales de las alas se han mantenido en la mayoría de los plomos utilizados hoy en día. Como curiosidad, es interesante mencionar que durante los siglos XVII algunos vidrieros introdujeron su propia firma, el logotipo de su taller o una fecha, grabados en el alma de los perfiles de plomo que producían.

- *corte, emplomado y soldadura de los plomos*. Las tres últimas operaciones necesarias para transformar los perfiles en el entramado o red de plomo que configuran los paneles de una vidriera son las que describiremos a continuación.

El proceso de emplomado y soldadura

Llama la atención el hecho de que tanto los perfiles de plomo como la técnica de trabajo de la vidriera emplomada no han sufrido variaciones sustanciales en sus más de 1000 años de historia. Las fuentes escritas más antiguas sobre la técnica de la vidriera y por defecto sobre la técnica y el proceso de emplomado siguen siendo en la actualidad dos manuscritos medievales bien conocidos: el del monje Theophilus, escrito hacia 1120 y el de Antonio da Pisa, escrito hacia finales del siglo XIV.

El proceso de emplomar un panel de vidriera consiste básicamente en *abrazar* todas las piezas de vidrio de un panel con perfiles de plomo de sección en “H”, los cuales son soldados posteriormente entre sí con estaño por ambas caras. Se trata éste de una técnica de trabajo que si bien podría parecer sencilla y carente de complicaciones, requiere de años de aprendizaje y práctica para poder realizarla correctamente. Los plomos deben ser cortados a medida de cada pieza mediante un cuchillo especial, dándole a cada extremo del perfil la forma que mejor se adapte a la del plomo en el que se va a insertar. El emplomado de los vidrios se realiza sobre el cartón de trabajo –escala 1:1- que se coloca sobre la mesa de trabajo. El trazado de los plomos debe seguir lo más ajustadamente posible el de las líneas de emplomado dibujadas en dicho cartón. Es importante decidir de antemano el trazado de los plomos y su grosor.

El emplomado de un panel no debe ser ni demasiado rígido ni demasiado blando. En un emplomado correcto, cada plomo debe abrazar firmemente los vidrios, no dejando zonas donde los vidrios queden excesivamente sueltos pero tampoco apretándolos demasiado. Asimismo, cada extremo de los plomos debe introducirse en el alma de otro –esto es lo que se llama soldadura “alma con alma” ya que las almas de ambos plomo están en contacto-, lo que, una vez soldada la unión de ambos plomos, garantiza una mayor fuerza y resistencia de todo el panel. Los perfiles de plomo utilizados no deberían ser demasia-

do largos ni mucho menos atravesar el panel de lado a lado, ya que esta forma de emplomar crearía zonas débiles en el panel al actuar como posibles zonas de pliegue.

Una vez *tejida o trenzada* la red de plomo de un panel, las uniones entre los diferentes plomos deben ser soldadas con estaño por ambas caras. La soldadura entre dos metales de bajo punto de fusión – inferior a los 200°C-, como son el plomo y el estaño, se conoce como “soldadura blanda”, la cual ya era conocida y practicada por los fenicios y chinos hace más de 2000 años. Para que el estaño pueda adherirse al plomo y se distribuya por éste de forma uniforme, es necesaria la aplicación de una grasa o resina sobre la zona del plomo donde se va a efectuar la soldadura. Generalmente se utiliza estearina, cuya función es la de romper la posible tensión superficial existente entre ambos metales, limpiar el plomo de óxido y facilitar la fluidez del estaño sobre el plomo⁷. Algunos vidrieros utilizan bovinas de estaño con alma de resina incorporada, que son aquellas en las que se han introducido colofonia -una de las resinas más comunes- en varios conductos creados en el interior de los hilos de estaño. Independientemente del tipo de grasa o resina utilizada, todas ellas dejan restos de grasa en la zona de la soldadura, por lo que es importante su eliminación frotándolos con un simple trozo de paño o papel absorbente.

La fundición del estaño y su posterior aplicación se realiza mediante un soldador. Antiguamente estos soldadores eran sencillas varillas de cobre insertadas en un mango de madera y terminadas en una cabeza apuntada. Aunque hoy en día nos parezca difícil de imaginar, con este tipo de soldadores se han emplomado miles de metros cuadrados de vidrieras durante siglos. Estos soldadores primitivos se colocaban sobre un recipiente metálico con brasas al rojo vivo y una vez la punta de cobre había alcanzado la temperatura necesaria, ya estaba lista para soldar. No es difícil imaginar que la temperatura de este tipo de soldadores era poco constante y difícil de mantener, y de ahí que las soldaduras de las vidrieras hasta el siglo XIX presenten en ocasiones diferencias notables en cuanto a su calidad. A partir del siglo XIX los soldadores pasaron a ser de gas. En la actualidad, si bien todavía hay vidrieros que utilizan los soldadores de gas, la mayoría de ellos utilizan soldadores eléctricos de entre 75 y 150W.

Algunas técnicas particulares de trabajo con el plomo

Las técnicas o procedimientos de trabajo con el plomo hasta aquí descritos son los habituales en la gran mayoría de las vidrieras. Existen no obstante otras prácticas poco o menos frecuentes –algunas de ellas ya desaparecidas y otras se siguen utilizando hoy día- que hemos decidido comentar aquí brevemente dado su interés para la historia de la técnica de la vidriera y el trabajo con el plomo.

- *Varillas de refuerzo entre plomos*. En algunas vidrieras medievales que han conservado su emplomado original, especialmente en el ámbito germánico, se insertaban una o dos varillas de junco de mimbre o, menos frecuentemente, de hierro, entre dos o tres perfiles de plomo perimetrales, los cuales actuaban a modo de marco de refuerzo, mejorando considerablemente la estabilidad de los paneles. La versión ac-

⁷ La estearina es un gliceril éster de ácido esteárico, que es un ácido graso saturado proveniente principalmente de grasas animales (sebo), aunque también pueden ser de origen vegetal.

tual de esta técnica serían los plomos armados en “H” o en “U”, los cuales son reforzados en el interior del alma con una varilla de acero.

- *Plomos dobles o yuxtapuestos.* Desde la Edad Media es una práctica relativamente común el uso de dos o más plomos yuxtapuestos lateralmente y soldados entre sí, con una finalidad tanto estética, como es la de remarcar una parte del motivo representado o quitarle luz mediante un línea mucho más gruesa, como de refuerzo, en el caso de que se utilizara esta técnica en los plomos perimetrales del panel.
- *Doblajes.* La técnica del doblaje se desarrolla en el siglo XIX y consiste básicamente en colocar un vidrio individualmente emplomado sobre otro del mismo tamaño y perteneciente a la red de plomo principal, con la finalidad de bien oscurecer el primero, cambiar su tono/color o bien añadir o complementar con nuevas líneas de grisalla las que ya portaba el vidrio base. El plomo del vidrio de doblaje se soldaba sobre el de la red de plomo.
- *Soldadura de los plomos perimetrales por una sola cara.* Normalmente los vidrieros sueldan los paneles por ambas caras. En ocasiones, sin embargo, se dejan los plomos perimetrales de una cara sin soldar – generalmente la cara exterior- con la finalidad de, si fuera necesario, facilitar su eventual eliminación in situ durante el montaje de la vidriera al haber quedado el panel demasiado grande.
- *Esquinas de los paneles redondeadas.* En algunas vidrieras medievales se ha podido observar que en ocasiones los vidrieros utilizaban uno o dos perfiles de plomo corridos, sin soldaduras en las esquinas como en la actualidad, para cerrar el margen exterior del panel, creando de esta manera esquinas redondeadas. Esta técnica se utilizaría seguramente para economizar tanto plomo como estaño.
- *Estañado de la red de plomo.* El recubrir de estaño las alas de una red de plomo por una o por ambas caras del panel es una técnica que ha sido observada en algunas vidrieras de la Edad Media y del siglo XIX y cuya finalidad era la de proporcionar mayor fuerza y rigidez al panel.
- *Dorado de los plomos.* Los plomos de algunas vidrieras especiales de finales del siglo XIX y principios del XX, durante los estilos artísticos europeos del Modernismo, Art Nouveau, Jugendstil, Sezession, Modern style y Floreale, se pintaban de dorado. Esta técnica, que se podía aplicar por una o por ambas caras y tanto en exteriores como en interiores, tenía la finalidad de conferirle a la vidriera un carácter más noble, vistoso y decorativo.
- *Incisiones en las alas de los plomos.* En ocasiones los vidrieros practican una pequeña incisión en ambas caras de las alas de los perfiles de plomo con el fin de poder doblarlo fácilmente y adaptarlo a un vidrio de formas muy acentuadas. Si bien esta es una técnica habitual, lo excepcional es aplicarla en todos los perfiles de plomo, como es el caso de una vidriera, presumiblemente del siglo XVIII, de la Capilla del Sagrario de la Catedral de Sevilla.
- *Marcas de vidriero sobre el plomo.* En algunas vidrieras medievales de los siglos XIII y XIV se han podido encontrar, grabadas sobre las alas de algunos plomos perimetrales, marcas de trabajo del vidriero. Estos signos, que podían ser en forma de círculos o cifras romanas, los grababa el vidriero a modo de ayuda durante el montaje para así poder identificar fácilmente la vidriera a la que pertenecía un panel o la ubicación de cada panel en su vano correspondiente de la vidriera.
- *Emplomados provisionales.* Según documentación conservada, parece ser que en ocasiones algunos vidrieros –particularmente en Alemania y en el siglo XIX- emplomaban parcialmente los vidrios que iban a pintar,

para más tarde desemplomarlos e introducirlos en el horno para su cocción. Presumiblemente, esta técnica sería utilizada más bien en paneles de pequeño formato y no en vidrieras enteras.

- *Plomos de fractura y plomos superficiales.* Se trata de dos métodos de restauración de vidrios fracturados utilizados tradicionalmente por los vidrieros y que presentan sus ventajas e inconvenientes. La técnica de los plomos de fractura consiste en insertar un nuevo plomo entre los fragmentos de vidrio fracturados, generalmente de menor grosor que los plomos originales de la vidriera. Las ventajas de este método son su compatibilidad con el resto de los materiales de la vidriera y la gran resistencia que aporta a la fractura. Sus principales inconvenientes son principalmente tres. El primero es de tipo estético ya que pueden desfigurar, en mayor o menor medida, la lectura de las piezas de vidrio donde se insertan al crear una nueva línea negra en el diseño original. El segundo es de tipo técnico, dado que para la introducción de estos plomos es necesario el desemplomado y extracción de la pieza fracturada, lo que implica un riesgo de nuevas fracturas y deterioro del plomo. La tercera y última objeción es de carácter ético, ya que a menudo se ha de recurrir al *remordido* de los cantos de los vidrios a fin de poder introducir el plomo de fractura entre ellos.

Por lo que respecta al método de los plomos superficiales, éste consiste sencillamente en cubrir o tapar una fractura o pequeña laguna en el vidrio mediante una estrecha banda de plomo -generalmente se utilizan las alas recortadas de un plomo de perfil en "H"- por ambas caras. Estas bandas de plomo son soldadas con estaño en sus extremos, allí donde tocan o se insertan en el plomo original. Este método, si bien estructuralmente no es tan eficaz como el anterior, tiene la gran ventaja de que no exige el desmontaje de los vidrios fracturados ni la mordedura de sus cantos. En cualquier caso, en ambos métodos, la anchura de los nuevos plomos deberá ser siempre inferior a la de los plomos originales de la vidriera -preferiblemente de unos 3mm-.

Las diferentes funciones del plomo en las vidrieras

Como ya hemos comentado más arriba, las principales funciones de la red de plomo de las vidrieras son por un lado la unión y soporte de las diferentes piezas de vidrio y por otro lado la de actuar como elemento de dibujo o elemento decorativo.

La unión y soporte de las diferentes piezas de vidrio es sin duda la función más evidente e importante de una red de plomo ya que de la buena calidad de un plomo y de un buen emplomado dependen en gran medida la duración y resistencia de una vidriera situada a la intemperie en el ventanal de un edificio. Para ello los plomos deben abrazar los vidrios firmemente, permitiendo a la vez una ligera oscilación o movimiento de los paneles ante sus fases de dilatación por calor y ante los empujes del viento y las posibles vibraciones. Aparte de la calidad del plomo y del emplomado, el éxito de un buen emplomado depende asimismo en buena parte de la calidad del estaño utilizado y del proceso de soldadura de los diferentes perfiles de plomo.

Por otra parte, la principal función artística de la red de plomo de una vidriera es la de actuar como elemento de dibujo y decoración. Desde el interior de un edificio, tanto los vidrios como los plo-

mos cobran vida y sentido, los plomos contornean y definen el dibujo del motivo representado, separando mediante líneas oscuras los diferentes vidrios o los colores de éstos. Desde el exterior, desde donde las vidrieras suelen dar la sensación de un simple paramento gris oscuro y sin vida, la vidriera puede tener asimismo su propia lectura en el caso de plomos dorados. En la fase inicial de creación de muchas vidrieras tradicionales, éstas se diseñan en función del dibujo creado por la red de plomo. Cuando vemos una vidriera a contraluz, las líneas negras que el plomo va creando al contornear las piezas de vidrio, de mayor o menor grosor según el tipo de plomo utilizado, pueden ser un elemento de dibujo y diseño de primer orden. Conforme nos alejamos y tomamos distancia con la vidriera, estas líneas de dibujo van progresivamente suavizándose, permitiendo la interacción y fusión de los colores.

La importancia histórica de la red de plomo en las vidrieras

A lo largo de la historia de la vidriera podemos encontrar diferentes estilos o formas de concebir este arte, en las cuales la función artística de la red de plomo desempeñaba un papel más o menos protagonista. Así, por ejemplo, en el siglo XIII destacan las sencillas y austeras vidrieras del arte cisterciense. Estas vidrieras nos ofrecen interesantes y bellos diseños basados exclusivamente en las geometrías modulares, donde los vidrios son mayoritariamente incoloros o monocromos y las pinturas, representando generalmente motivos florales, son muy escasas y discretas. En estas vidrieras, probablemente más que en cualquier otro momento de la historia de este arte, la red de plomo es protagonista indiscutible.

Asimismo, en el siglo XIII también se desarrolló en el ámbito germánico otro género de vidrieras puramente decorativas y muy coloristas conocidas como “vidrieras tapiz” las cuales, como su nombre indica, imitaban en cierta manera a tapices traslúcidos colgantes y donde vidrios y plomos tienen la misma importancia en el diseño general de las obras.

A finales del siglo XV y durante el siglo XVI el arte de la vidriera se convirtió en un arte cada vez más pictórico, planteándose como un género de pintura desarrollada sobre grandes lienzos traslúcidos en los cuales la red de plomo pierde protagonismo ante el avance de las grisallas. En estas vidrieras se reduce asimismo la cantidad de plomo utilizado de forma considerable, siendo las piezas de vidrio cada vez más grandes. Del siglo XVI destacamos dos géneros muy diferentes. Por un lado las vidrieras de grandes escenas o composiciones que se extienden a lo alto y ancho de todo el ventanal. En estas vidrieras, especialmente en las creadas a partir del segundo tercio del siglo XVI, da la sensación de que los plomos, más que ayudar en la composición, suponían un estorbo y se intentaban disimular y ocultar en el diseño general de la obra.

Por otro lado se desarrolla también en este siglo el género de los llamados medallones, pequeñas miniaturas artísticas creadas en piezas de vidrio circulares –generalmente de unos Ø21cm. Si bien estos medallones iban insertados en el centro de una sencilla vidriera geométrica incolora, en la parte principal de estas obras se prescinde por completo de cualquier tipo de emplomado, cediendo lugar a una decoración pictórica de gran calidad y delicadeza mediante el uso exclusivo de grisallas y amarillos de plata.

Paralelamente a este tipo de vidrieras comentadas se desarrolló a partir del siglo XV un tipo de vidriera utilitaria muy sencilla, formada por vidrios incoloros formando mediante la red de plomo sencillos motivos geométricos como rombos, cuadrados o rectángulos. Este tipo de vidriera, sencilla, barata y funcional, será la que dará lugar a la vidriera geométrica o “blanca” predominante en los siglos XVII y XVIII y en la cual los motivos modulares desarrollados por la red de plomo se complican en comparación a siglos anteriores.

Una variante de vidriera geométrica, sucesora de la vidriera blanca barroca, es una vidriera decorativa de gran colorido predominante durante la segunda mitad del siglo XVIII y la primera del siglo XIX. Este tipo de vidriera utiliza vidrios de colores primarios, formando sencillas pero efectivas combinaciones geométricas claramente delimitadas por la red de plomo.

A finales del siglo XVIII y primera mitad del XIX se produce un género de vidrieras conocido como “vidriera lienzo”, el cual hunde sus raíces en la transformación pictórica experimentada por la vidriera durante el siglo XVI anteriormente comentada. Si bien las vidrieras del XVI mantienen en todos los sentidos la esencia del oficio y la tradición de este arte, las vidrieras lienzo, al funcionar como auténticos cuadros traslúcidos pintados en los ventanales de un edificio, son obras más de pintores que de vidrieros. En ellas el plomo prácticamente desaparece, siendo de gran tamaño los vidrios donde se representan los motivos pictóricos.

Por último, durante los primeros años del siglo XX nos encontramos con que en algunas vidrieras decorativas del Modernismo y geométricas del Art Decó se recupera la importancia de los emplomados. Si bien en las primeras los vidrios utilizados son mayoritariamente de colores intensos y en las segundas son incoloros y texturados, en ambos tipos de vidrieras el plomo funciona como elemento primordial de dibujo y diseño.

Deterioro del plomo

Es una creencia común, que aparece reflejada frecuentemente en la literatura sobre el tema, el pensar que las redes de plomo de las vidrieras tienen una duración de unos 100 años en condiciones normales de exposición⁸. No obstante, la experiencia nos demuestra que esta generalización, si bien puede tener su justificación, no es válida para todas las vidrieras. A menudo los plomos de las vidrieras de los siglos XVII, XVIII, XIX e incluso del XX son de pésima calidad y su estado aconseja que éstas sean reemplomadas. Asimismo, muchos emplomados medievales que han llegado hasta nosotros se encuentran en un buen estado de conservación y pueden perfectamente seguir cumpliendo su función original.

Independientemente de su antigüedad y pese a sus grandes ventajas sobre otros metales ya comentadas anteriormente, el plomo se ve afectado por diferentes patologías o procesos de deterioro que

⁸ Durante mi etapa como estudiante de restauración de vidrieras ésta era una creencia común y yo mismo en ocasiones he transmitido a mis estudiantes durante estos últimos años la idea de que las redes de plomo, “en teoría” tenían una vida útil de unos 100 años. Con los años, sin embargo, mi experiencia personal me ha enseñado que este tipo de afirmaciones son generalizaciones no válidas para todas las vidrieras.

pueden terminar por afectar seriamente a un panel o al conjunto de la vidriera. Estos deterioros pueden ser tanto de origen intrínseco como extrínseco y de carácter mecánico o químico.

Entre los factores intrínsecos o internos de deterioro destaca principalmente su composición química. Así por ejemplo, sabemos que un elevado porcentaje de antimonio, cobre o estaño, hacen al plomo más resistente al deterioro químico -un porcentaje de estaño superior a un 1,5% actúa como protección contra la corrosión- pero también menos elástico y más rígido. La plata por su parte aumenta la flexibilidad del plomo y su resistencia a tensiones mecánicas.

Los principales factores extrínsecos o externos de deterioro son las altas humedades y temperaturas, los bruscos contrastes entre estos parámetros, ciertos gases presentes en la atmósfera y determinados productos químicos que pueden entrar en contacto con el metal. El plomo, si bien en líneas generales es un metal relativamente resistente a los ácidos, es especialmente sensible a los ciertos ácidos como el acético, fórmico, oxálico, nítrico, tánico, húmico, formaldehído y a algunos productos disociados del azufre y el cloro que pueden inducir, especialmente en ambientes de elevada humedad, a procesos irreversibles de corrosión. Asimismo, la cal viva y el cemento Pórtland, componentes utilizados en los morteros de sellamiento, y el Blanco de plomo que en otras épocas se añadía a las masillas pueden atacar químicamente los plomos de una vidriera. Por otro lado, el contacto con otros metales puede inducir a una corrosión electrolítica en situaciones de elevada humedad.

Por último, no hemos de olvidar la importancia que el factor humano puede desempeñar en el deterioro de las vidrieras, como por ejemplo un mal emplomado o soldado original de los paneles. Asimismo, tanto las restauraciones excesivas o con métodos muy abrasivos, como por el contrario el abandono y la falta de un mantenimiento regular al que se ven expuestas la mayoría de las vidrieras históricas, pueden convertirse en dos de los factores de deterioro más importantes.

Por lo que respecta al deterioro mecánico de los plomos de las vidrieras, la principal patología que nos podemos encontrar es el debilitamiento y pérdida de consistencia que afecta a la red de plomo con el paso del tiempo. Este debilitamiento termina por producir microfisuras y fracturas en los plomos y abombamientos en el panel. Las fracturas y los abombamientos hacia la cara interior o exterior de los paneles, son sin duda los dos problemas más comunes que presentan las redes de plomo de las vidrieras. En el origen de este debilitamiento de los plomos podemos encontrar varias causas, como la fatiga del metal con el paso de los años, la presión del viento, las altas temperaturas de los meses más cálidos, las contracciones y dilataciones debidas a los bruscos cambios de temperatura y humedad, un mal emplomado (líneas rectas horizontales o verticales atravesando el panel), una mala calidad del plomo, una cantidad insuficiente de varillas de refuerzo en el panel y un tamaño excesivamente grande del mismo.

Las fracturas o fisuras de los plomos se producen generalmente sobre las alas, en la zona de contacto entre el plomo y el estaño de la soldadura. Este fenómeno es bien conocido que generalmente suele tener un doble origen: por un lado el hecho de que los puntos de soldadura, al actuar como ejes de flexión ante los movimientos de un panel hacia el interior o exterior, van debilitándose progresivamente en esa zona; por otro lado, durante el proceso de soldadura se crea una cierta tensión y debilitamiento en la zona de unión entre el plomo y el estaño debido al fuerte contraste de temperatura que se genera al entrar en contacto dos metales con una gran diferencia de temperatura.

Las fases avanzadas de deterioro químico de los plomos son afortunadamente un problema relativamente poco común, siendo en el caso del estaño de las soldaduras mucho menos frecuente. En exposición natural de una vidriera a la intemperie, el plomo sufre un rápido proceso de oxidación, el cual es sin embargo beneficioso ya que supone la formación de una película gris oscura superficial de óxido de plomo formada por anglesita (PbSO_4), lanarkita ($\text{Pb}_2\text{O}\cdot\text{SO}_4$) y litargirio (PbO) que actúa como protección. Esta fase de oxidación estable es el estado más común en la mayoría de vidrieras.

En una segunda fase de deterioro, si el acetato de plomo presente en esta película reacciona con el dióxido de carbono de la atmósfera puede llegar a formarse sobre el plomo una segunda película de carbonato de plomo (Blanco de Plomo). Esta capa de coloración blanca está formada por sales inorgánicas muy higroscópicas e insolubles. En una tercera fase más avanzada pero muy poco frecuente en vidrieras, el plomo puede llegar a reaccionar nuevamente con el medio, dando lugar a la formación de sulfato de plomo.

Restauración de la red de plomo

Como ya dijimos anteriormente, el plomo de las vidrieras ha sido considerado tradicionalmente como un material puramente funcional, carente de valor y perfectamente reemplazable en cada nueva restauración. Esta falta de apreciación y concienciación sobre el posible valor histórico, documental y material de las redes de plomo de las vidrieras ha tenido como consecuencia reemplomados -sustitución de la red de plomo existente por una nueva- masivos e indiscriminados durante el proceso de restauración de la vidriera. En la actualidad, para muchos vidrieros el reemplazar un emplomado sigue siendo una intervención necesaria para sanear y mejorar el aspecto de la vidriera, para que se note ha sido restaurada, e incorporan este procedimiento de forma sistemática en cada restauración, sea realmente necesario o no. Afortunadamente, poco a poco se va desarrollando una mayor concienciación sobre la importancia de las redes de plomo en el conjunto de la vidriera, y ello ha generado un creciente número de estudios sobre el tema y un cambio de actitud ante su conservación y restauración.

La primera medida necesaria dentro de un programa de conservación de una vidriera histórica es la documentación preliminar del estado de conservación de todos los materiales y evidentemente de la red de plomo. Además de la toma de fotografías generales y de detalles, es necesario especificar sobre un calco o dibujo de la red de plomo tanto las características físicas del plomo -ancho, alto, trazado, etc.- como las patologías de deterioro detectadas -fracturas, lagunas, deformaciones, deterioro químico, etc.-. Una vez documentada la vidriera, las principales actuaciones de restauración que suelen ser realizadas son las siguientes:

- *Limpieza*. El plomo únicamente se debería limpiar con métodos mecánicos suaves, como pinceles de diferentes durezas, ya que de lo contrario podríamos eliminar la capa de oxidación que recubre su superficie, la cual, como ya vimos, actúa de barrera protectora ante posteriores ataques químicos.
- *Soldadura de fracturas*. Esta es una operación muy frecuente que se realiza eliminando mediante raspado y cuidadosamente la capa de óxido que recubre la zona fracturada, aplicando a continuación estearina y

soldándola con nuevo estaño. Los nuevos puntos de soldadura no deberán ser ni excesivamente gruesos o pobres en estaño ya que ambos tipos de soldadura pueden ser perjudiciales a la larga.

- *Abombamientos*. Para corregir los abombamientos es necesario aplicar pesos y, eventualmente, calor, de forma gradual sobre los paneles afectados. En ocasiones es necesario asimismo desoldar algunas soldaduras o cortar algunos plomos, volviéndolos a soldar más tarde, para reducir la presión creada y recuperar la planimetría original. Es muy importante que una vez restaurado un panel, las varillas de refuerzo que se coloquen y los nudos que las sujetan deben ser lo suficientemente fuertes como para evitar que se vuelvan a producir estos abombamientos.
- *Sustitución de plomos*. Los plomos que se encuentren excesivamente deteriorados, deformados o que se hayan perdido deben ser sustituidos por nuevos plomos de características similares a las de los originales. La sustitución completa de una red de plomo por una nueva es una operación irreversible y por lo tanto sólo debería considerarse cuando esté realmente justificada. Una parte representativa de los plomos sustituidos debería ser documentada y archivada.
- *Patinado de las nuevas soldaduras*. En el caso de que se considere que los nuevos puntos de soldadura aplicados por ambas caras de un panel resulten excesivamente llamativos, pueden ser matizados u oscurecidos mediante la aplicación de una pátina líquida compuesta de cristales de sulfato de cobre diluidos en agua destilada que genera un proceso de oxidación acelerada.

Almacenaje de vidrieras emplomadas

El almacenaje de vidrieras durante los procesos de intervención es una operación delicada y no carente de riesgos. Los paneles de una vidriera pueden almacenarse, ya sea en el taller de restauración o en un museo, tanto en posición vertical como en horizontal pero si es en vertical los paneles deben siempre quedar apoyados sobre su lado más largo y mantener un cierto ángulo de separación en su base con respecto a la pared vertical de la caja o mueble donde se encuentren. El lugar de almacenaje de las vidrieras históricas debería mantener unas condiciones climáticas lo más estables y controladas que sea posible, siendo de preferencia los ambientes secos y ventilados con una humedad relativa y una temperatura estables. Especialmente se deberían evitar las vitrinas o muebles contruidos con maderas aglomeradas o de DM (tabletos de fibra de densidad media) ya que las resinas o barnices que éstas contienen desprenden gases muy nocivos -ácido formaldehído, ácido acético y ácido fórmico-. Estos gases, en un ambiente cerrado, con escasa ventilación y con una humedad excesiva, pueden atacar fácilmente el plomo, originando procesos de carbonatación y corrosión. Por último, para el almacenaje de fragmentos de plomo de cierto valor, pueden utilizarse bolsas de autocierre de polietileno.

Referencias bibliográficas

- Bauer, W. P., *Reihenuntersuchung von Verbleiungstücken Mittelalterlicher Glasgemälde verschiedener Provenienz*, en "Ö.Z.K.D.", 21 (1967), pp. 207-209.
- Brown, S. L., *The Structure of Lead as Related to Stained Glass*, en "Journal of the British Society of Master Glass Painters" Vol. II, n° 3 (1928), pp. 123-128.
- Cannon, L., *Lead Milling Marks from a Sixteenth Century Window*, en "Stained Glass Quarterly", Fall, 1988, pp. 222-226.
- Cannon, L. y Goldkuhle, D., *A study of the physical and chemical properties of lead calme and the deterioration and stability of leaded stained glass*, en "Actas de las Ponencias del XVI Coloquio Internacional" (Tagung für Glasmalereiforschung), Comisión del CVMA en Suiza, Berna, 1991.
- Cortés Pizano, F., *Medieval window leads from the Monastery of Pedralbes (Catalonia) and the Cathedral of Altenberg (Germany): a comparative study*, en "CVMA Newsletters" 47 (1999), pp. 25-31.
- Cortés Pizano, F., *Estudio del plomo medieval en las vidrieras del Monasterio de Pedralbes*, en "Materiales de Construcción", Vol. 50, n° 259, Julio, Agosto, Septiembre 2000, pp. 85-95.
- Cuzange, L., *La fabrication des plombs au Moyen Âge*, en "Le vitrail Roman et les Arts de la Couleur. Nouvelles approches sur le vitrail du XIIe siècle". Revue d'Auvergne, n° 570 (2004), pp. 158-168.
- Deneux, H. A., *A thirteen century mould for making calme lead*, en "Journal of the British Society of Master Glass Painters" Vol. III, n° 2 (1929), pp. 81-85.
- Deneux, H. A., *Un moule à plom de vitraux du XIIIe siècle*, en "Bulletin Monumental" 87, n° 1-2 (1928), pp. 149-154.
- Egan, G., Hanna, S. D. y Knight, B., *Marks on milled window leads*, en "Post-Medieval Archaeology", 20 (1986), pp. 303-309.
- Fiaud, C., *Le problème de l'altération des plombs anciens*, en "Actes des Journées d'études du Centre International du Vitrail (Chartres)", Bourges, 28-29 October 1993, pp. 163-182.
- Frenzel, G., *Die Verbleiung Historischer Glasgemälde*, en "C.V.M.A. Newsletters", 16. Intern. Kolloquium Bern, 1991, pp. 1-6.
- García-Heras, M., Villegas, M. A., Cano, E., Cortés Pizano, F. y Bastidas, J.M., *Conservation and analytical study of metallic elements from medieval Spanish stained glass windows*, en Vol. 1 de las Actas de la "Conferencia Internacional de Arqueometalurgia en Europa", celebrada en Milán (Italia) los días 24, 25 y 26 de Septiembre de 2003, pp. 381-390.
- García-Heras, M., Villegas, M. A., Cano, E., Cortés Pizano, F. y Bastidas, J.M., *A conservation assessment on metallic elements from Spanish Medieval stained glass windows*, en "Journal of Cultural Heritage" 5 (2004) pp. 311-317.
- Knight, B., *Window Lead can be Interesting!*, en "Conservation News", 29 (1986), pp. 31-32.
- Knight, B., *Researches on Medieval Window Lead*, en "Journal of the British Society of Master Glass Painters" Vol. XVIII, n° 1 (1983-1984), pp. 49-51.
- Knowles, J. A., *Ancient leads for windows and the methods of their manufacture*, en "Journal of the British Society of Master Glass Painters" Vol. III, 3 (1930), pp. 133-140.

- Knowles, J. A., *Decay of glass, lead and iron of ancient stained glass windows*, en „Journal of the British Society of Master Glass Painters“ 12, (1959), pp. 270-276.
- Kratzel, W., *Über Biege- und Zugversuche mit Proben der Verbleiung von Bildfenstern*, en „Ö.Z.K.D.“, 21 (1967), pp. 205-207.
- Müller, W., *Verbleiung bei Glasmalerei*. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Edition Leipzig, 2000.
- Newton, R. G., *Fact or fiction? Can cold glass flow under its own weight and what happens to stained glass windows?*, en „Glass Technology“, vol. 37, nr. 4, Agosto 1996, p. 143.
- Noehl, R., *Korrosion von Fensterblei (Erstens frisches Blei, zweitens Nässe, drittens Säuren)*, en „Glaswelt“ 4 (1991), pp. 25-26.
- Peltz D. y Rothman, V., *An examination of the lead matrices of 19th century american plated opalescent stained glass windows by John La Farge*, en las Actas del “Forum international pour la conservation et la restauration des vitraux: Techniques du vitrail au XIX^{ème} siècle”, celebrado en Namur (Bélgica), del 14 al 16 de Junio de 2007, pp. 197-206.
- Pisa, A. da, *Arte Delle Vetrare*. End of the 14th century. Ed. Editalia, 1977. Introduction by Salvatore Pezzella.
- Rambush, V. B., *The lead comes of stained glass windows: purpose, problems and preservation procedures*, en “Technology & Conservation”, 8, N°3 (1983), pp. 46-49.
- Schmeling, E.- L., *Lochfraßerscheinungen an Blei*, en „Korrosion“, 13 (1960), pp. 76-83.
- Sloan, J., *The best alloy for lead came*, en „Professional Stained Glass“ 171 (1989).
- Strobel, S., *Glastechnik des Mittelalters*. Ed. Gentner Verlag, Stuttgart, 1990, pp. 112-123.
- Tennent, N., *The corrosion of lead artifacts in wooden storage cabinets*, en “SSCR Journal” Febrero 1993, Vol. 4 N° 1.
- Tétreault, J., Sirois, J., y Stamatopoulou, E., *Studies of lead in acetic acid environments*, en “Studies in Conservation”, 43 (1998) 17-32.
- Theophilus, *On Divers Arts*. Traducido por Hawthorne y Smith, Nueva York, Ed. Dover Publications Inc., 1979, Libro II, pp. 67-71.
- Van Treeck, P., *Besondere ästhetische und technische Funktionen an Bleinetzen des 19. Jahrhunderts*, en las Actas del “Forum international pour la conservation et la restauration des vitraux: Techniques du vitrail au XIX^{ème} siècle”, celebrado en Namur (Bélgica), del 14 al 16 de Junio de 2007, pp. 179-190.

Ilustraciones

- Figura 1: parroquia de la Asunción de Rentería. Vidriera del coro, realizada por la Casa Zettler de Alemania entre 1913 y 1915. (Foto: Fernando Cortés-Mikel Delika).
- Figura 2: imagen al microscopio de una sección de plomo del siglo XIV procedente de una de las vidrieras de la iglesia del Monasterio de Pedralbes (Barcelona). (Foto: Detlef Kruschke).
- Figura 3: izquierda: fragmento de un perfil de plomo actual en bruto después de salir del molde y antes de su desbastado y estirado; derecha: perfil de plomo actual listo para ser usado. (Fotos: Fernando Cortés).
- Figura 4: detalles de dos perfiles de plomo procedentes de sendas vidrieras del siglo XVI; arriba: Iglesia de Berlanga de Duero (Soria); abajo: Iglesia de Mota del Marqués (Valladolid). (Fotos: Fernando Cortés).
- Figura 5: detalles de dos perfiles de plomo procedentes de diferentes vidrieras; arriba: Iglesia del Monasterio de Pedralbes (Barcelona) -siglo XIV-; abajo: Iglesia de Valpueda (Burgos) -probablemente de la segunda mitad del siglo XVI o la primera mitad del siglo XVII-. (Fotos: Fernando Cortés).
- Figura 6: detalles de dos perfiles de plomo procedentes de diferentes vidrieras; arriba: Kloster Haina (Alemania) -plomos utilizados como nudos para las varillas de refuerzo, posiblemente del siglo XVI-; Abajo: Iglesia de Berlanga de Duero (Soria) -posiblemente del siglo XVIII-. (Fotos: Fernando Cortés).
- Figura 7: diferentes detalles de varios perfiles de plomo reforzados con junquillo de mimbre procedentes de una vidriera de alrededor de 1350 en Kloster Haina (Alemania). (Fotos: Fernando Cortés).
- Figura 8: vidriera de finales del siglo XIX o principios del siglo XX situada en un mausoleo del Cementerio de Montjuic Barcelona en la cual se han pintado de dorado los plomos exteriores. (Foto: Silvia Cañellas).
- Figura 9: detalle de una vidriera de finales del siglo XVIII o principios del siglo XIX en la Capilla del Sagrario de la Catedral de Sevilla donde se aprecia la técnica de emplomado con las alas de los plomos cortadas. (Foto: Fernando Cortés).
- Figura 10: panel de una vidriera de finales del siglo XIX en la fachada de la Catedral de Barcelona. (Foto: Fernando Cortés-Teodoro Fort).
- Figura 11: vidriera cisterciense de la primera mitad del siglo XIII en el Monasterio de Pedralbes (Tarragona). (Foto: Mikel Delika).
- Figura 12: vidriera, posiblemente del siglo XVIII, en la Catedral de Burgos. (Foto: Fernando Cortés).
- Figura 13: vidriera, posiblemente del siglo XVIII o principios del siglo XIX, sobre una puerta de la Mezquita/Catedral de Córdoba. (Foto: Fernando Cortés).
- Figura 14: vidriera modernista de principios del siglo XX situada en el actual Museo de Arte de Cerdanyola del Vallès (Barcelona). (Foto: Fernando Cortés).
- Figura 15: detalle de la parte inferior de una vidriera plegada debido a un mal emplomado en la Catedral de Logroño (Foto: Fernando Cortés).
- Figura 16: restos de un panel destrozado procedente de una vidriera en una iglesia de Buenos Aires (Argentina). (Foto: Sofía Villamarín).

Figura 17: detalle de varias fracturas en la red de plomo del panel de una vidriera de finales del siglo XIX en la fachada principal de la Catedral de Barcelona. (Foto: Fernando Cortés –Teodoro Fort).

Figura 18: red de plomo del siglo XIX de un panel procedente de una vidriera medieval en la Catedral de Lincoln (Reino Unido). (Foto: Fernando Cortés).

Figura 19: fotos de documentación de un panel de principios del siglo XX procedente de una vidriera situada en la fachada principal de la Catedral de Barcelona. (Fotos: Fernando Cortés-Teodoro Fort).

Artículo publicado en las Actas de las Jornadas “La Ciencia y el Arte II. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio Histórico”, celebradas en el Museo de América de Madrid entre los días 23 y 25 de Junio del 2008. Ministerio de Cultura. Madrid, pp. 181-195.