

EL ANODIZADO ARTÍSTICO. UN PROCESO PARA APORTAR COLOR A LA ESCULTURA REALIZADA EN ALUMINIO FUNDIDO

Enric Teixidó Simó*, Martí Ruiz i Carulla**
y Josep Cerdà Ferré***
Universitat de Barcelona

RESUMEN

La imposibilidad del aluminio de reaccionar a las pátinas químicas, como lo hace el bronce, ha llevado a las fundiciones artísticas y a los escultores y escultoras a pensar que este metal no dispone de mecanismos propios de coloración. La revisión sobre el tema, en otros campos de estudio más afines a la ciencia y la tecnología, nos ha abierto las puertas al anodizado. Este tratamiento electroquímico, que modifica el recubrimiento de óxido del aluminio, ofrece múltiples posibilidades de coloreado. En esta investigación, con el propósito de implementar este recurso a la producción escultórica en aluminio fundido, se llevaron a cabo una serie de experimentaciones a partir de probetas fundidas con distintos aluminios seleccionados y varias esculturas. Los resultados obtenidos nos han permitido detectar el alcance creativo de este sistema de coloración y, por ende, su gran potencial en la escultura fundida.

PALABRAS CLAVE: escultura en aluminio, fundición artística, aluminio coloreado, anodizado artístico.

ARTISTIC ANODIZING.
A PROCESS FOR ADDING COLOUR TO CAST
ALUMINIUM SCULPTURE

ABSTRACT

The impossibility of aluminium to react chemical patinas, as bronze does, has led artistic foundries and sculptors to think that this metal does not have its own colouring mechanisms. A review of the subject, in other fields of study more akin to science and technology, has opened the door to led us anodizing. This electrochemical treatment, which modifies the aluminium oxide layer, offers multiple colouring possibilities. In this research, with the aim of implementing this resource in the production of cast aluminium sculptures, a series of experiments have been carried out using test pieces cast with different selected aluminium and several sculptures. The results obtained have allowed us to detect the creative scope of this colouring system and, therefore, its great potential in cast sculpture.

KEYWORDS: aluminium sculpture, artistic casting, coloured aluminium, artistic anodizing.



1. INTRODUCCIÓN

El aluminio se oxida, pero esta oxidación no responde al patinado químico como lo hace la del bronce, que proporciona una amplia gama de cromatismos muy apreciada como recurso creativo. En su lugar, con este método de coloración, en el aluminio se obtienen exclusivamente grises, generando resultados muy limitantes.

Por otra parte, este metal ha gozado de una libertad propia de los materiales industriales, aprovechada sin tapujos por los escultores y escultoras, siendo habitual el uso de coloraciones no reactivas¹, como el lacado, el esmaltado o el pintado, como así lo demuestran esculturas como la *Diana as an Engine I* (1963-1966), de Eduardo Paolozzi; el *Split Button* (1981), de Claes Oldenburg y Coosje van Bruggen; la *Three Brushstrokes* (1984), de Roy Lichtenstein; la *Wave* (2003), de Anish Kapoor o la *Industrial Nature* (2015), de Tony Cragg, entre muchas otras. Estos recursos basan su eficacia en productos que recubren la superficie con grados de opacidad o translucidez diversos, permitiendo ocultar el plateado original del aluminio en mayor o menor medida, de modo que no aprovechan las singularidades de este metal para proveerlo de color, pudiendo ser aplicados sobre una amplia variedad de materiales.

Si indagamos en otros campos de estudio, más relacionados con el entorno industrial, descubrimos un proceso ampliamente utilizado para dotar de color al aluminio, el *anodizado*. Este proceso electroquímico, fundamentado en alterar el óxido natural del aluminio (la alúmina), aprovecha las especificidades de este metal para proporcionarle una superficie porosa capaz de albergar agentes colorantes.

A día de hoy, los estudios orientados a implementar este sistema de coloración en el contexto de la escultura han sido casi inexistentes; esta ausencia refleja su desconocimiento o quizás el poco interés expresado hasta el momento por este proceso en este campo. Aunque entendemos que *a priori* puede parecer un proceso complejo, que requiere aventurarse en la investigación realizada en otros ámbitos, desde nuestro punto de vista, el anodizado y su posterior coloreado debe ser considerado entre los mecanismos para aportar color a la producción escultórica en aluminio vinculada a la fundición; principalmente por ser un recurso propio de este metal y por su gran potencial en lo que se refiere a posibilidades cromáticas.

Para obtener resultados con este recurso y valorar sus posibilidades, hemos llevado a cabo un conjunto de experimentaciones basadas en el anodizado y coloreado de probetas y de esculturas de pequeño formato, fundidas con diversos aluminios², entre los que se encuentran, mayoritariamente, aleaciones de la serie AB-4XXXX,

* Universitat de Barcelona. E-mail: eteixidoasura@ub.edu.

** Universitat de Barcelona. E-mail: marti.ruiz@ub.edu.

*** Universitat de Barcelona. E-mail: cerda@ub.edu.

¹ Matthew Runfola, *Pátinas: Más de trescientos efectos de coloración para joyeros y orfebres* (Barcelona: Hoaki Books, 2021), 45.

² Es habitual usar el plural *aluminios* para referirse, de forma genérica, al conjunto de las variantes de este metal, aluminios puros y aleaciones. Este recurso se ha usado con este propósito, en varias ocasiones, en el presente documento.

utilizada habitualmente para la producción en fundición por sus elevados porcentajes de silicio³.

Los resultados de esta investigación pretenden contribuir a aportar herramientas y argumentos para poner en valor este método de coloración dentro de nuestra área de estudio, a la vez que considerar la posibilidad de plantear una modalidad de anodizado con entidad propia, que se desvincule, en parte, de las directrices que establece el sector industrial; la que hemos denominado como *anodizado artístico*⁴.

2. ANTECEDENTES

El anodizado es un tratamiento electroquímico que amplifica y modifica la oxidación que de forma natural se produce en la superficie del aluminio. En 1857, el químico y físico Heinrich Buff mencionó por primera vez la reacción de oxidación que padecía el aluminio cuando hacía la función de ánodo en un baño electrolítico⁵. A partir de esta primera alusión, muchos investigadores son los que intentaron explicar este fenómeno y demostrar su visión de lo que sucede en la oxidación anódica de este metal. Este hecho derivó en varias patentes surgidas en la primera mitad del siglo xx, entre las que se destacan la del anodizado con ácido oxálico⁶, registrada en Japón en 1923 por los investigadores Kujirai y Ueki, y cuyo proceso fue adoptado rápidamente por la industria alemana bautizándolo como Eloxal, acrónimo de *Electrolytisch German Oxidiertes Aluminium*⁷; la referente al anodizado con ácido crómico⁸, método patentado el mismo año que el anterior por Guy Dunstan Ben-

³ El silicio aumenta la fluidez del aluminio y, por consiguiente, su colabilidad.

⁴ Este término se ha usado en el sector industrial de algunos países de Sudamérica, como México, para denominar el anodizado decorativo. También, encontramos una referencia a esta designación en un caso muy concreto dentro del contexto de la joyería; la joyera Karla González Vázquez, en su proyecto Iluminarte, lo acuña para referirse a su producción en aluminio laminado anodizado, en la que se sirve de técnicas pictóricas para la coloración de sus diseños. Karla González Vázquez, «¿En qué consiste el anodizado?», *Iluminarte: Anodizado artístico* (blog), última modificación en noviembre de 2014, <https://anodizadoartisticoiluminarte.wordpress.com/2014/11/>. En todo caso, este término, hasta el momento, no ha trascendido ni se ha consolidado.

⁵ Jude M. Runge, *The Metallurgy of Anodizing Aluminum: Connecting Science to Practice* (New York: Springer Cham, 2018), 92, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72177-4>.

⁶ K. Kujirai y S. Ueki. Rust Prevention Method for Aluminum and Aluminum Alloys. Patente japonesa 61,920, C, publicada el 3 de diciembre de 1923.

⁷ Arthur W. Brace, «75 Years of Sulphuric Acid Anodizing», *Transactions of the IMF* 80, n.º 5 (2002): 177. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00202967.2002.11871463>; Tatsuya Kikuchi *et al.*, *Porous Aluminum Oxide Formed by Anodizing in Various Electrolyte Species*, (Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers, 2015): 7, <http://hdl.handle.net/2115/61963>; Simon Wernick y Robert Pinner, *Acabados y tratamientos superficiales del aluminio y sus aleaciones*, trad. César Pérez Prieto y Jaime Alonso Rodríguez (Madrid: Editorial River, 1966), 244.

⁸ Guy Dunstan Bengough, y John Mc. Stuart. Improved Process of Protecting Surfaces of Aluminium of Aluminium Alloys. Patente británica 223,994. Depositada el 2 de agosto de 1923, publicada el 3 de noviembre de 1924. <https://patents.google.com/patent/GB223994A/en# citedBy>.





gough y John McArthur Stuart, conocido también como *proceso Bengough-Stuart*⁹; y la del anodizado con ácido sulfúrico¹⁰, del año 1927, de Charles Hugh Roberts Gower y Stafford O'Brien & Partners Ltd., en la que ya se trataban aspectos relacionados con el color y los agentes colorantes, así como la influencia de la aleación en el color resultante del recubrimiento de óxido¹¹. Estas patentes han sido inspiración de muchas más, dando respuesta a distintas necesidades.

A partir de los posibles resultados que se pueden obtener con los distintos procesos de anodizado, dependiendo de las propiedades que se quieran potenciar o atribuir, el ámbito industrial determina dos grandes grupos: el *anodizado de protección*, que según la UNE 38019:2017 de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) es la «anodización del aluminio donde la protección frente a la corrosión y el desgaste son las características fundamentales y donde la apariencia es secundaria»¹², y el *de protección y decorativo*, que según la misma asociación es el «que tiene como característica fundamental el producir un acabado uniforme y estéticamente agradable»¹³.

En lo que se refiere al presente estudio, de las tipologías establecidas por el sector industrial, la que nos suscita más interés y hemos tomado como punto de partida es la del anodizado de protección y decorativo; no por la definición que proporciona AENOR, sino porque entre sus peculiaridades permite aportar color al aluminio tratado. En términos generales, para conseguir este propósito, se aprovechan las cualidades porosas que se le pueden atribuir a la superficie mediante el anodizado para introducir en estos poros partículas capaces de aportar cromatismos. Para obtener estas cualidades en la superficie del aluminio se requiere trabajar con ciertos valores en las variables del tratamiento, así como con un electrolito que aporte recubrimientos claros, transparentes e incoloros, y una superficie suficientemente porosa; virtudes que se aúnan en el electrolito de ácido sulfúrico¹⁴.

⁹ Guy Dunstan Bengough y John Mc. Stuart. Process of Protecting Surfaces of Aluminum or Aluminum Alloys. Patente americana 1,771,910. Depositada el 28 de julio de 1924, publicada el 29 de julio de 1930, 100. <https://patents.google.com/patent/US1771910A/en>; Runge, *The Metallurgy of Anodizing Aluminum*, 101.

¹⁰ Charles H.R. Gower y Stafford O'Brien & Partners Ltd. An Improved Process for Providing a Resistant Coating Upon the Surfaces of Aluminium or Aluminium Alloys. Patente británica 290,901. Depositada el 20 de octubre de 1927, emitida el 24 de mayo de 1928. <https://patents.google.com/patent/GB290901A/en>.

¹¹ Runge, *The Metallurgy of Anodizing Aluminum*, 102.

¹² *Anodización del aluminio y sus aleaciones: Vocabulario*, AENOR/UNE 38019:2017 (Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, aprobada el 2 de noviembre de 2017): 6, <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059127>.

¹³ *Anodización del aluminio y sus aleaciones: Vocabulario*, 6. Aunque creemos que los conceptos *estética y agradable* usados en esta definición podrían ser motivo de discusión en el contexto de esta investigación, y en otros, creemos que, por limitaciones de extensión, es mejor abordar este tema en futuras disertaciones.

¹⁴ Charles A. Grubbs, «Anodizing of Aluminum», *Metal Finishing* 105, n.º 10 (2007): 397, [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(07\)80359-X](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(07)80359-X); Kikuchi *et al.*, «Porous Aluminum Oxide», 5, 561; Wernick y Pinner, *Acabados y tratamientos superficiales*, 304.

Por lo que respecta a los mecanismos de coloración más utilizados, encontramos el *electrolítico* y su variante, el coloreado *por interferencia*, que aportan color a partir de partículas metálicas, y el de *impregnación*, que lo proporciona mediante pigmentos¹⁵. Mientras que el primero ofrece poca diversidad de colores, moviéndose entre los bronce y negros, debido a que estos se obtienen por dispersión óptica, el de interferencia fundamenta sus resultados, como su propio nombre indica, en la interferencia óptica, ampliando la gama cromática a amarillos, verdes, azules y púrpuras. En cuanto al método por impregnación, el sistema para aportar color difiere de los anteriores, ya que el color viene dado por los pigmentos utilizados por lo tanto, se obtiene por la reflexión de la luz, hecho que posibilita una amplia variedad de colores y múltiples tonalidades.

El anodizado y coloreado del aluminio es un recurso que se distingue de los que lo dotan de color mediante el recubrimiento de su superficie (esmaltes, lacas y pinturas). Después del tratamiento, debido a que las partículas que aportan el color son introducidas en los poros, la apariencia del metal (en este caso como alúmina) sigue subyacente; este aspecto es más evidente o menos dependiendo del resultado obtenido en el tratamiento y del color aplicado, así como de su intensidad.

Un aspecto importante que se tiene muy en cuenta en el contexto del anodizado decorativo¹⁶ es qué aluminios son los más óptimos para ser tratados. Las empresas especializadas, así como la literatura relacionada con el tema de estudio, recomiendan, para obtener resultados uniformes y estéticamente agradables, unos aluminios en concreto, siendo en su conjunto algunos de los denominados *de forja*¹⁷. En lo que concierne a los aluminios de fundición, estos no se consideran apropiados para obtener un aspecto final homogéneo debido mayormente al habitual alto porcentaje en silicio de sus aleaciones, componente que causa discontinuidades en

¹⁵ Existe otro método, el llamado *coloración integral*. Este, aunque efectivo, se ha ido dejando de lado por su elevado coste de producción.

¹⁶ Es común nombrar esta modalidad simplemente como anodizado decorativo, ya que se entiende que todo anodizado tiene implícita una faceta protectora. Algunas nomenclaturas especifican tres categorías que relacionan el nivel de protección y el acabado decorativo: los anodizados Protectores y Decorativos, los Arquitectónicos Clase II y los Arquitectónicos Clase I. *Specifying Anodized Aluminum*, AAC/Technical Bulletin #2-13 (Wauconda, IL: Aluminum Anodizers Council, revisado el 6 de julio de 2018): 3-4, https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/files/Technical_Bulletin2-13_Rev07.pdf.

¹⁷ *Directrices de la marca de calidad QUALANOD para el anodizado del aluminio en medio sulfúrico*, Qualanod (Zúrich: Qualanod, en vigor desde el 1 de julio de 2022), 31-33, <https://www.asoc-aluminio.es/marcas-de-calidad/qualanod-directrices>. Según el modelo de transformación, los aluminios se consideran de forja, si por su composición van dirigidos a procesos de laminado, extrusionado y embutido, o de fundición, cuando son formulados para ser fundidos y vertidos o inyectados dentro de un molde.



el anodizado, y con ello opacidad y manchas oscuras en la superficie¹⁸; por lo tanto, no encajan en la norma antes citada¹⁹.

A pesar de que el anodizado decorativo ha sido una práctica popular en el diseño industrial desde los años treinta, gracias a diseñadores pioneros como Warren McArthur²⁰, ha pasado desapercibido en lo referente a la producción escultórica en aluminio fundido. Precisamos *fundido* porque, aunque pocos, algunos escultores se han valido de las posibilidades que ofrece el anodizado para aportar color al aluminio de sus obras realizadas a partir de procesos constructivos con elementos extrusionados y laminados; hallamos algunos ejemplos en Ellsworth Kelly con su *Sculpture for a Large Wall* (1957) o Donald Judd en varios de sus *Untitled* de la década de los setenta, de los ochenta y de los noventa.

Parece ser que, debido a que este método de coloración se ha aplicado muy puntualmente con finalidades escultóricas, esta práctica no ha llegado a trascender. Excepcionalmente, ha habido algún intento aislado de divulgar su potencial entre la comunidad artística; nos referimos al caso del escultor, joyero y profesor David LaPlantz, que, con su obra personal, junto con el libro y el vídeo *Artists Anodizing Aluminum: The Sulfuric Acid Process* (1988), ha creado un precedente en lo que se refiere al estudio de las posibilidades del anodizado y coloreado del aluminio dirigido a la escultura. Aunque este documento y su producción dedica toda su atención a aplicar este recurso exclusivamente al aluminio de forja, es un referente a tener en cuenta.

Recientemente, la tesis doctoral llevada a cabo por el investigador Enric Teixidó Simó y dirigida por el catedrático Josep Cerdà Ferré, *El color en l'escultura d'alumini fos. Processos experimentals de coloració de l'alumini i els seus aliatges a partir de l'anoditzat* (2022), aborda la posibilidad de implementar otra variante del anodizado, la que es el centro de atención del presente documento: el anodizado artístico. El Dr. Teixidó, tomando como partida los recursos técnicos que se relacionan con el anodizado decorativo, pero huyendo del carácter limitante que le acompaña, propone desvincularse de las categorías ya establecidas *priorizando la voluntad creativa y experimental del artista*²¹.

La experimentación que se presenta a continuación se centra en parte de los estudios de esta tesis doctoral, recogiendo las prácticas llevadas a cabo con el anodizado y el posterior coloreado en probetas y esculturas fundidas.

¹⁸ Giulia Scampone y Giulio Timelli, «Anodizing Al-Si Foundry Alloys: A Critical Review», *Advanced Engineering Materials* 24, n.º 4 (enero 2022): 3-4, <https://doi.org/10.1002/adem.202101480>.

¹⁹ Posiblemente, este haya sido un factor determinante en la falta de estudios relacionados con la práctica del anodizado decorativo aplicado a esculturas de aluminio fundido.

²⁰ Quentin R. Skrabec, *Aluminum in America: A History* (Jefferson, NC: McFarland & Company, 2017), cap. 15, Kindle.

²¹ Teixidó, *El color en l'escultura d'alumini fos: Processos experimentals de coloració de l'alumini i els seus aliatges a partir de l'anoditzat* (tesis doctoral, Universitat de Barcelona, 2022), 541-546, <http://hdl.handle.net/2445/187622>.

TABLA 1. ALUMINIOS SELECCIONADOS Y SUS COMPONENTES MÁS SIGNIFICATIVOS (%)					
PROCEDENCIA	ALUMINIOS	Si	Fe	Cu	Mg
	AB-42200	7,38	0,18	0,05	0,49
	AB-43200	9,67	0,44	0,19	0,30
	AB-44100	12,82	0,51	0,10	0,04
	AB-46000	10,22	0,95	2,18	0,42
2.ª fusión	AS9U3	8,90	0,68	3,04	0,25
	AB-46100	10,90	0,86	1,68	0,28
	AS7U3	7,98	0,52	3,40	0,46
	AB-47100	10,68	0,69	0,98	0,32
	AB-48000	11,98	0,55	1,03	1,02
Chatarra	AW-51100	0,38	0,15	0,03	3,01
1.ª fusión	A199,5	0,20	0,15	0,01	0,02

Fuente. datos de Txixidó (2022, tabla 3.1.4).

Nota: La nomenclatura utilizada para identificar la mayoría de los aluminios ha sido la del Comité Europeo de Normalización (CEN). En dos casos se ha hecho una excepción, en el de la aleación AS9U3 y en el de la AS7U3; estas dos han sido proporcionadas por la empresa suministradora con nomenclatura francesa (NFA), por este motivo hemos preferido mantener esta designación a lo largo de la investigación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Para proceder a la experimentación se seleccionaron nueve aleaciones de aluminio de segunda fusión en las cuales predomina el silicio, por lo tanto, comunes en los procesos de fundición²². También se contó con un aluminio puro y con una aleación con un elevado contenido en magnesio y bajo porcentaje en silicio, por ser considerados, desde la perspectiva del anodizado decorativo, más aptos para los procesos de anodizado y coloreado. Estos aluminios, recogidos en la tabla 1, fueron suministrados por la empresa Grupal Art S.L., especializada en la fusión y el refinado de subproductos de aluminio²³.

²² Se denominan de segunda fusión las aleaciones que provienen del reciclaje del aluminio mediante la fusión y el refinado de sus subproductos. Las de primera fusión son aquellas en las que el aluminio que contienen ha sido obtenido directamente de la electrólisis de la alúmina. La energía necesaria para el reciclaje del aluminio se estima en un 95% inferior a la que se precisa para obtener aluminio de primera fusión. Bajo premisas de sostenibilidad, hemos optado por utilizar mayoritariamente aleaciones de segunda fusión.

²³ De acuerdo con el Conveni-UB 18060, dirigido a desarrollar el proyecto «Estratègies per a redescobrir l'alumini en la fosa artística».



En cuanto al anodizado, el electrolito seleccionado fue el de ácido sulfúrico²⁴; este se elaboró a partir de ácido sulfúrico ≥ 95 % TECHNICAL (ref. 20685.330). El baño de decapado alcalino se formuló con perlas de sodio hidróxido ≥ 97 % TECHNICAL (ref. 28240.292), y los baños de neutralizado (*desmutting*) se prepararon con ácido nítrico 68 % TECHNICAL (ref. 20406.320). Estos productos químicos fueron abastecidos por VWR Chemicals. El instrumental para la comprobación de la temperatura y el pH, el Termómetro Termistor impermeable para alimentación equipado con sonda (ref. HI93501) y el Tester pH/Temp impermeable (ref. HI98127) respectivamente, fueron dispensados por la fabricante Hanna Instruments. Con el fin de regular la corriente eléctrica aplicada a la celda electrolítica, se dispuso de una fuente de alimentación de laboratorio de la marca Geti, con una tensión de salida de 0-30 V y una intensidad de salida de 0-20 A.

Para la coloración, según el método seleccionado, el de impregnación, por requerir una infraestructura sencilla, ser de fácil aplicación y ofrecer una amplia paleta de colores y matices, nos servimos de una serie de pigmentos orgánicos sintéticos elaborados específicamente para esta finalidad por la empresa Clariant Plastics and Coatings, y distribuidos por el grupo Barcelonesa de Drogas y Productos Químicos S.A.U. Los pigmentos seleccionados fueron Sanodal Black 2LW; Sanodye Blue G; Sanodal Turquoise PLW Liq.; Sanodal Green 3LW; Sanodure Violet CLW; Sanodure Fiery Red ML; Sanodure Bordeaux RL; Sanodye Golden Orange RLW y Sanodye Yellow D. A esta lista se añadió un pigmento inorgánico, el OXINED B-52, comercializado por Europigments S.L.

3.2. MÉTODOS

Para proceder con un desarrollo progresivo de la experimentación se establecieron dos etapas de trabajo consecutivas: en primer lugar, la relacionada con los ensayos con probetas, destinada a asimilar de forma gradual el proceso de trabajo y las posibilidades del recurso, y, en segundo, la destinada a aplicar los conocimientos adquiridos en la fase anterior, en la producción y coloración de esculturas.

3.2.1. *Las probetas*

El *prototipo*, la *fundición* y los *acabados superficiales*. En lo que se refiere a la elección del prototipo, que posteriormente fue replicado en cera para, mediante la fundición, materializar las probetas con los distintos aluminios, se contempló la forma, las cualidades de sus superficies y la posibilidad de, *a posteriori*, poder ejecutar

²⁴ El electrolito de ácido sulfúrico es el más usado actualmente, no solo por las características que aporta a la superficie porosa, sino también por su reducido coste. Brace, «75 Years of Sulphuric Acid Anodizing», 177.



Fig. 1. Acabados superficiales de las probetas.
De izquierda a derecha: satinado, brillante, mate y sin modificar.

acabados superficiales distintos a los de origen. Consideramos estas premisas con la finalidad de aportar resultados coherentes con la técnica, la fundición²⁵, y comprobar cómo influyen estos parámetros, después del anodizado, en el coloreado resultante.

Los modelos de cera, los moldes refractarios y su cocción y las fundiciones de aluminio se realizaron en el taller de fundición de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat de Barcelona (a partir de ahora Foneria UB). Los procesos utilizados fueron los empleados habitualmente en estas instalaciones: sistema de fundición a la cera perdida, molde de cascarilla cerámica y fundición por gravedad.

La fundición de cada uno de los aluminios se adaptó a los requerimientos técnicos de cada uno de ellos (desgasificado, escoriado, temperatura...)²⁶. Posteriormente, las probetas fueron desmoldadas y separadas del árbol de colada, siendo el paso siguiente el marcaje con las nomenclaturas correspondientes y la terminación de las distintas superficies con los acabados seleccionados, dejando una superficie sin modificar; es decir, con las cualidades superficiales proporcionadas por la fundición (fig. 1).

Anodizado y coloreado. Con el fin de obtener unos resultados iniciales de referencia, para la primera toma de contacto con el anodizado y coloreado de los aluminios seleccionados, recurrimos a la experiencia y los servicios de una empresa especializada en este tipo de tratamientos (AFV Inicia). Se encargó el anodizado y coloreado de 8 de las probetas obtenidas: 8 de cada una de las aleaciones escogidas y 8 del aluminio puro seleccionado. El proceso utilizado fue el anodizado con electrolito de ácido sulfúrico y el coloreado por impregnación con pigmentos orgánicos

²⁵ La fundición de metales se caracteriza, y se diferencia de los procesos de forja, por proporcionar una libertad casi sin límites en la complejidad del diseño de la forma. Peter Beeley, *Foundry Technology*, 2.ª ed. (Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001): 370.

²⁶ Para consultar información más detallada, sobre la fundición de las probetas y las fichas técnicas de los aluminios, véase Teixidó, *El color en l'escultura d'alumini fos*, 613-734.



TABLA 2. PIGMENTOS UTILIZADOS POR LA EMPRESA Y COLORES OBTENIDOS		
REF. CLARIANT ^a	COLOR ^b	REF. AFV INICIA ^c
Sanodal Black 2LW	Negro	NEM1
Sanodal Black 2LW	Azul titanio	GAM2
Sanodye Blue G	Azul marino	AMMI
Sanodal Turquoise PLW Liq.	Azul turquesa	ATM2
Sanodal Green 3LW	Verde oscuro	VEM2
Sanodure Violet CLW	Violeta	VIM1
Sanodure Fiery Red ML	Rojo fuego	RJM3
Sanodure Bordeaux RL	Rosa burdeos	RJM1

Fuentes: datos de Teixidó (2022, tabla 3.2.1); Clariant Plastics & Coatings, Aluminum Finishing: Specific Color Solutions (Muttentz: Clariant International, 2018), <https://www.clariant.com/es/Business-Units/Pigments/Special-Applications/Aluminum-Finishing>; «Los colores del anodizado». Acabados, AFV Inicia, consultado el 20 de junio de 2022. <http://www.afvinicia.com/colores-del-anodizado/>.

^a Referencia comercial de la empresa fabricante de los pigmentos.

^b Nombre otorgado por la empresa AFV Inicia S.L.

^c Referencia de la empresa anodizadora AFV Inicia S.L.



Fig. 2. Anodizado y coloreado, en azul turquesa, de una probeta de la aleación AB-48000.

Fig. 3. Anodizado y coloreado, en azul turquesa, de una probeta de la aleación AW-51100.

sintéticos, el usado habitualmente por la empresa para realizar anodizados decorativos. Los pigmentos seleccionados y los colores asociados a los distintos baños de color son los listados en la tabla 2.

Los resultados proporcionados fueron alentadores. Las figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8 ilustran algunas de las muestras obtenidas en aleaciones de aluminio al silicio (columna de la izquierda) en comparación con las del aluminio al magnesio (columna de la derecha).

El siguiente paso fue anodizar y colorear en las instalaciones de la Fonería UB. Para tal fin, nos servimos de un laboratorio piloto de dimensiones reducidas,



Fig. 4. Anodizado y coloreado, en rosa burdeos, de una probeta de la aleación AS9U3.



Fig. 5. Anodizado y coloreado, en rosa burdeos, de una probeta de la aleación AW-51100.



Fig. 6. Anodizado y coloreado, en verde oscuro, de una probeta de la aleación AB-44100.



Fig. 7. Anodizado y coloreado, en verde oscuro, de una probeta de la aleación AW-51100.



Fig. 8. Anodizado y coloreado, en rojo fuego, de una probeta de la aleación AB-46100.



Fig. 9. Anodizado y coloreado, en rojo fuego, de una probeta de la aleación AW-51100.

pero con capacidad para albergar todo lo necesario para llevar a cabo la propuesta. El conjunto de los baños y la secuencia seguida se muestran en el esquema de la figura 10.



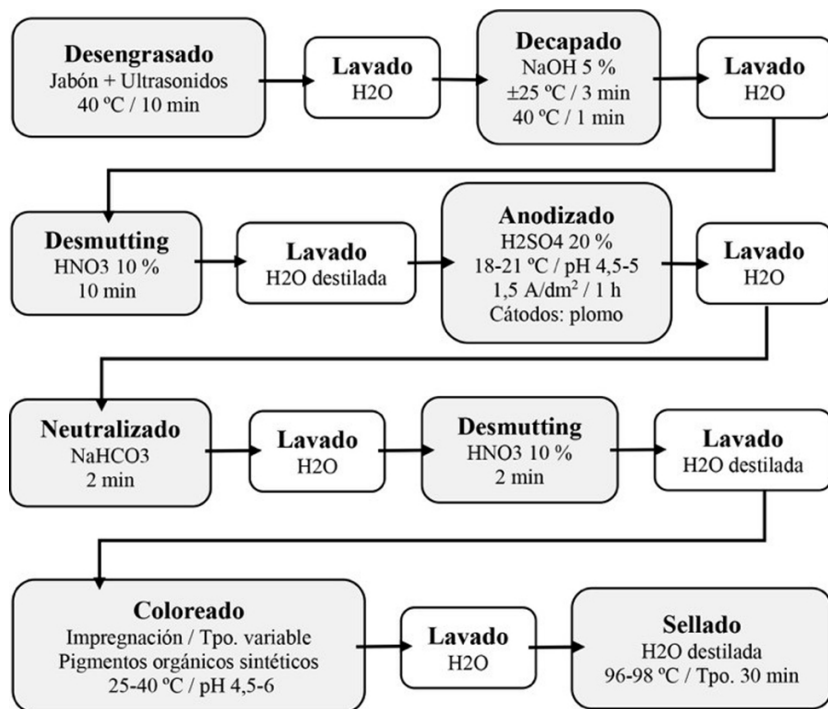


Fig. 10. Esquema del proceso y datos de las variables.
Adaptado de Teixidó (2022, tablas 3.2.21 y 3.2.51).

Para activar el laboratorio piloto y proceder a la experimentación, se calibraron las variables del proceso según la infraestructura y las probetas a tratar. Para tal fin, se realizaron un conjunto de ensayos con varias probetas de los distintos aluminios que incluyeron el anodizado y el posterior coloreado en negro por ser considerado este tono de los más difíciles de obtener. Al mismo tiempo, el baño de color negro nos permitió comprobar el poder de absorción de la superficie porosa obtenida con el tratamiento; este método de evaluación está inspirado en el *Ensayo de la gota colorante con tratamiento ácido previo*, utilizado para determinar la calidad del sellado del anodizado²⁷. En nuestro caso se determinó, usando la lógica, que, si el tratamiento es correcto, la porosidad es suficiente y, por ende, es posible obtener el

²⁷ Anodización del aluminio y sus aleaciones: Estimación de la pérdida de poder absorbente de los recubrimientos anódicos de óxido después del sellado. Ensayo de la gota colorante con tratamiento ácido previo, AENOR/UNE-EN ISO 2143:2017 (Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, aprobada el 28 de setiembre de 2017): 7-8, <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060190>.

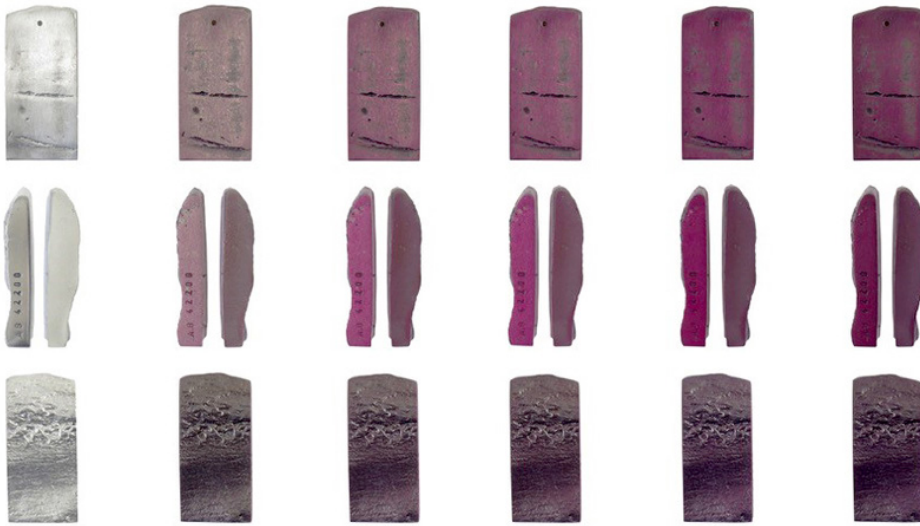


Fig. 11. Variación del tiempo de inmersión y la saturación del baño de color violeta, en una probeta de la aleación AB-42200.

color con la saturación deseada²⁸. Para establecer la corriente eléctrica necesaria se usó la equivalencia facilitada por la marca de calidad Qualanod, en la que se indica que son necesarios entre 1,5 y 2 A/dm² para obtener un recubrimiento de 20 µm²⁹. Los cátodos empleados fueron de plomo y sus dimensiones, respecto al ánodo, se mantuvieron entre las proporciones de 1:1 y 1:4 (ánodo : cátodo). El conjunto de los datos obtenidos con el calibrado, así como los parámetros de referencia concernientes a las distintas variables (composición, concentración, pH, temperatura...), se encuentran recopilados en la figura 10.

Seguidamente, para definir las posibilidades que ofrecen cada una de las aleaciones en relación con los baños de color de tonos oscuros y los de tonos luminosos, efectuamos inmersiones en las que se varió el tiempo de exposición³⁰. Estas pruebas se llevaron a cabo con el pigmento violeta (Sanodure Violet CLW) y el negro (Sanodal Black 2LW). Se pueden observar algunos de los resultados en la figura 11 y en la figura 12.

²⁸ Para consultar el proceso completo de calibrado y recalibrado, véase Teixidó, «El color en l'escultura d'alumini fos», 889-919.

²⁹ Qualanod, *Directrices de la marca de calidad QUALANOD*, 42.

³⁰ La intensidad de un baño de color, o lo que podemos denominar como tonos oscuros o luminosos, se define por la cantidad de pigmento dispersado en los baños y por el tiempo de exposición a los mismos, de la pieza a colorear.

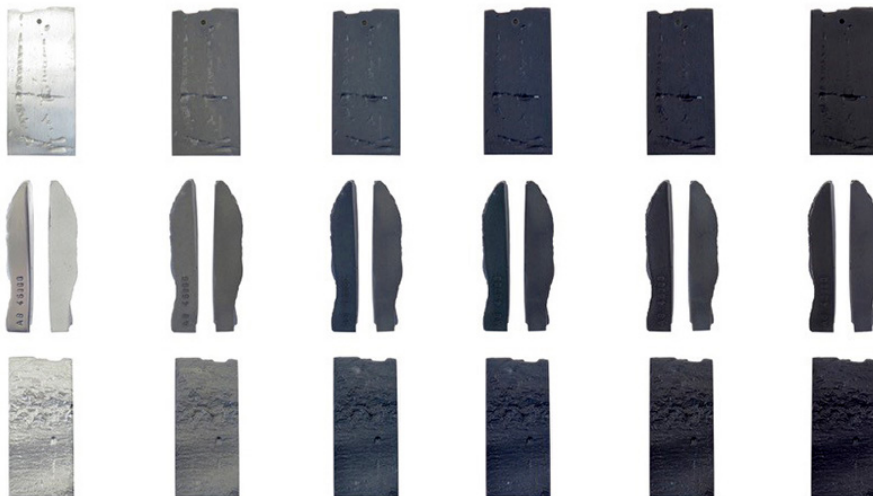


Fig. 12. Variación del tiempo de inmersión y la saturación del baño de color negro, en una probeta de la aleación AB-46000.

3.2.2. Las esculturas

La elección de la coloración y del aluminio. Con una triple intencionalidad, la de disponer de variedad en la producción escultórica a tratar, criterios distintos a la hora de plantear las coloraciones, y recopilar sensaciones y opiniones desde distintos enfoques sobre los resultados obtenidos, se invitó a varios artistas a producir una obra en aluminio fundido; siendo un total de once los colaboradores y colaboradoras. Para ceñirnos a las posibilidades dimensionales del laboratorio, el único aspecto limitante definido de antemano fueron las dimensiones de las obras, no pudiendo exceder en su lado más largo los 20 cm, restringiendo la producción a esculturas de pequeño formato.

Para la elección del color se efectuó un sondeo con los escultores y escultoras, sirviéndose del muestrario obtenido con las probetas. En los casos en los que fue necesario, se realizaron ensayos de color específicos con las probetas de los aluminios correspondientes, abordando colores no incluidos en el muestrario, tonalidades de color singulares o texturas concretas. Los pigmentos ofrecidos fueron los mismos que los utilizados por la empresa especializada (tabla 2), a los que se sumaron, por demanda de los colaboradores y colaboradoras, el amarillo (Sanodye Yellow D), el naranja (Sanodye Golden Orange RLW) y el blanco (OXINED B-52)³¹.

³¹ No se han encontrado pigmentos específicos para proporcionar color blanco al aluminio anodizado. Para cubrir esta necesidad se empleó un pigmento inorgánico elaborado con dióxido de titanio.

Antes de emprender el proceso de fundición de las esculturas, se discutió con los artífices de las mismas las peculiaridades de las piezas a fundir, teniendo en cuenta cuestiones como el volumen y la forma; en este momento se tuvo que priorizar, en el caso de que no coincidieran, el mejor aluminio para la fundición en función de las características de la pieza o el acabado cromático deseado. En aquellos casos en los que, por motivos técnicos, fue necesario primar el aluminio a la coloración seleccionada, se volvió a consultar el muestrario para redefinir la coloración.

La *fundición*. Las esculturas se elaboraron en la Fonería UB, menos en algún caso concreto en el que se requirió de recursos externos (termocortadora de Control Numérico Computarizado) para la fabricación del modelo. En lo que se refiere a la fundición de las esculturas, en su mayor parte fueron fundidas bajo los mismos parámetros que los de las probetas, a excepción de tres piezas en las que el molde se elaboró con sílice y bentonita (moldeo en arena verde). La producción total de piezas fundidas fue de 34, las correspondientes a 22 esculturas³².

El *anodizado y coloreado*. Para la experimentación con el anodizado y coloreado de las esculturas se modificó el laboratorio, siendo necesario remplazar los recipientes del decapado, del anodizado y de algunos de los baños de color por tanques más grandes. Estos cambios, previstos desde un principio, respondieron al tamaño de algunas de las piezas, ajustado a las dimensiones máximas propuestas o, en algunos casos, sobrepasándolas, llegando a los 30 cm y, por tanto, reclamando un mayor volumen del contenido de los baños.

Para tratar las 34 piezas fundidas, se tomaron como referencia los datos obtenidos en los ensayos de las probetas y se recurrió a la misma secuencia de baños (fig. 10). Destacaremos que el incremento en el volumen de disolución de sosa cáustica (decapado), de 3 litros a 10, obligó a cambiar los valores relacionados con la temperatura de dicho baño por no disponer de la tecnología necesaria para calentarlo, y el tiempo de exposición al mismo, pasando de 1 minuto a 40°C a 3 minutos a temperatura ambiente.

A diferencia de las prácticas anteriores con las probetas, en las cuales las dimensiones de las superficies tratadas eran las mismas en todos los ejemplares y por ende, una vez calculado el amperaje necesario para anodizar uno, este servía para el resto, en lo referente a las piezas, este valor fue más difícil de estimar por tratarse de superficies diversas y en ocasiones, con una complejidad alta. Esta disparidad en las superficies a tratar nos impidió acogernos, en muchos de los casos, a la equivalencia usada hasta el momento para calcular esta variable (1,5 A/dm²). Por este motivo, en ocasiones se optó por fijar el valor de la intensidad de la corriente (A) y en otras la tensión (V). Con respecto al voltaje, la información consultada sobre el anodizado con ácido sulfúrico acota la tensión en la celda electrolítica entre 14 y 40 V, pero

³² Para más información sobre la fundición de las piezas, véase Teixidó, *El color en l'escultura d'alumini fos*, 985-997.



TABLA 3. DATOS DEL ANODIZADO Y COLOREADO DE LAS ESCULTURAS

OBRA	PZAS. ^a	ALUMINIO	A/V ^b	PIGMENTO	g/l	APLI. ^c	TPO. ^d
<i>Mengen or i caguen plom</i>	1	AB-46000	21 A	Yellow D	5	↓	▲
	1		2 A				
<i>Ocult</i>	5	AS7U3	12 A/u	Black 2LW	10	↓	▼
<i>Desprotecció</i>	1	AC-51100	21 A	Bordeaux RL	0,25	↓ /	▼
<i>Picaportes</i>	1	AB-42200	1,4 A	Turquoise PLW Liq.	5	↓	◀▶
	1		1,4 A	Blue G	3		▲
<i>Làmines corbes</i>	1	AS9U3	7,5 A	Green 3LW	0,2	↓	▲
	1		7,5 A		0,2		◀▶
	1 ^c		7,5 A		0,2		▲
	1		3		◀▶		
	1		5 A		3		▲
<i>Dafne</i>	1	AB-43200	14 V	Yellow D	5	↓	◀▶
				Green 3LW	3		▲
<i>Esbós 1</i>	1		12 V	Turquoise PLW Liq.	0,1	↓	▼
				Blue G	3		◀▶
<i>Esbós 2</i>	1		12 V	Fiery Red ML	5		♦
<i>Esbós 3</i>	1	A199,5	12 V	Yellow D	5		▲
<i>Ni tan blanco</i>	1	AS9U3	14 V	Blanco TiO2	20	↓	▲
<i>ni tan negro</i>	1	AB-44100	14 V	Black 2LW	10		▲
	1	AC-51100	14 V	Black 2LW	10	♦	
	1		14 V	Black 2LW	10	▼	
	1		14 V	Turquoise PLW Liq.	2,5	▲	
	1		14 V	Violet CLW	0,3	▲	
<i>Tocant l'aigua</i>	1	AB-42200	14 V	Golden Orange RLW	3	↓	◀▶
				Fiery Red ML	0,2		◀▶

Fuente: Datos de Teixidó (2022): 1003-1172.

^a Abreviatura de piezas.

^b Amperios/Voltios.


^c Abreviatura de aplicación, referido al método de coloreado. Los pictogramas usados en esta columna, para definir el método de aplicación, son los siguientes: ↓ por inmersión / / con pincel / / con pipeta

^d Abreviatura de tiempo. El tiempo de exposición al colorante se expresa con los siguientes símbolos:

▲ alto / ◀▶ medio / ▼ bajo. Cuando con el mismo colorante se ha practicado un degradado, y, por lo tanto, distintos tiempos de exposición, se expresa ♦; este símbolo es equivalente a ▼◀▶▲.

^e En este caso se fundió una sola pieza que posteriormente fue cortada en 5 unidades.




TABLA 3. (CONTINUÍA)

OBRA	PZAS. ^a	ALUMINIO	A/V ^b	PIGMENTO	g/l	APLI. ^c	TPO. ^d
	1		14 V	Turquoise PLW Liq.	0,1		▲
				Green 3LW	0,2		◀▶
<i>Lunam</i>	1	AB-42200	21 A	varios / multicolor			◀▶
<i>G-V-B</i>	1		5 A	Yellow D	5		▲
<i>(G1-V-B;</i>	1	AS9U3	5 A	Fiery Red ML	5		▲
<i>G-V1-B;</i>	1		5 A	Blue G	3		◀▶
<i>G-V-B1)</i>	1		5 A	Blue G	3		◀▶
<i>Sense titol</i>	2		7 A				
	1	AC-51100	3 A	Black 2LW	10		▲

Fuente: Datos de Teixidó (2022): 1003-1172.

^a Abreviatura de piezas.

^b Amperios/Voltios.

^c Abreviatura de aplicación, referido al método de coloreado. Los pictogramas usados en esta columna, para definir el método de aplicación, son los siguientes:  por inmersión /  con pincel /  con pipeta

^d Abreviatura de tiempo. El tiempo de exposición al colorante se expresa con los siguientes símbolos:

▲ alto / ▶◀ medio / ▼ bajo. Cuando con el mismo colorante se ha practicado un degradado, y, por lo tanto, distintos tiempos de exposición, se expresa ◆: este símbolo es equivalente a ▼◀▶▲.

^c En este caso se fundió una sola pieza que posteriormente fue cortada en 5 unidades.

no especifica más datos³³. En consecuencia, en el momento de definir el voltaje nos orientamos por los valores obtenidos en los ensayos con las probetas, ya que observamos que este fluctuó entre 12 y 14 V. Una vez anodizadas las piezas, bajo nuestra supervisión, los escultores y escultoras se encargaron del coloreado, pasando a ser parte activa del proceso. En la tabla 3 se aportan los datos de anodizado y coloreado correspondientes a las piezas de cada una de las esculturas. Esta información se complementa con el esquema aportado en la figura 10.

A continuación, se muestran algunas de las esculturas resultantes y detalles de las mismas (figs. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21).

³³ Vernon F. Henley, *Anodic Oxidation of Aluminium and Its Alloys* (Oxford: Pergamon Press, 1982): 257-258; Kikuchi *et al.*, «Porous Aluminum Oxide», 5.





Fig. 13. Una de las piezas de la serie *Tocant l'aigua*, 21 x 8 x 7 cm.
Obra de Teresa Riba.



Fig. 14. *Mengen or y caguen plom*, 20 x 18 x 26 cm.
Obra de Joan Vall Martí.



Fig. 15. *Ni tan blanco ni tan negro*,
15 x 15 x 7 cm/u.
Obra de Rubén Campo López.



Fig. 16. *Làmines corbes*, 7,5 x 8 x 9 cm, 7,5 x 4 x 9 cm, 7,5 x 7 x 9 cm,
7,5 x 5 x 9 cm, 7,5 x 5,5 x 9 cm. Obra de Martí Ruiz i Carulla.



Fig. 17. *Lunam*, 10 x 30 x 30 cm.
Obra de Matilde Grau.

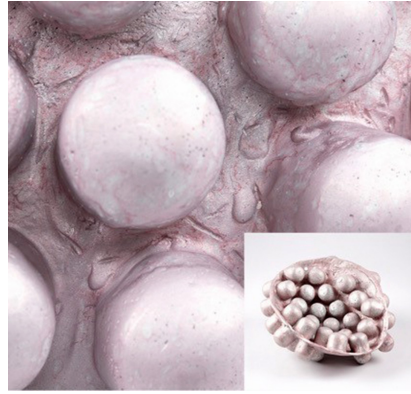


Fig. 18. *Desprotecció*, 11 x 20 x 20 cm.
Obra de Irene Cases.



Fig. 19. GVB, G1-V-B 1,5 x 27,5 x 27 cm,
G-V1-B 1,5 x 27,5 x 28 cm, G-V-B1
1,5 x 29,5 x 26 cm. Obra de
Josep Cerdà Ferré.



Fig. 20. *Ocult*, 4 x 19,5 x 19,5 cm/u.
Obra de Miquel Planas.



Fig. 21. *Sense títol*, 19 x 15 x 15 cm/u.
Obra de Joan Villaplana.



4. RESULTADOS

La investigación aportó los siguientes resultados:

A partir del acopio de información sobre el conjunto de las variables del proceso de anodizado y coloreado y sus posibles valores, la experimentación con las probetas de distintos aluminios y la aplicación del método en varias obras escultóricas, se han obtenido una serie de datos de referencia (se recogen en la figura 10 y en la tabla 3). Estos pueden ser útiles para futuras investigaciones y para implementar el anodizado y coloreado en la práctica de aportar color a las esculturas en aluminios de fundición; a pesar de todo, su alcance es restringido. Su limitación viene dada por una de las características fundamentales de la fundición, la libertad de formas que pueden obtenerse con esta técnica y, por lo tanto, las posibles diferencias significativas entre las obras producidas. Este aspecto dificulta la estimación de algunos de los valores de las variables del tratamiento, siendo la dificultad más relevante el cálculo de las superficies a tratar y, en consecuencia, de la corriente eléctrica necesaria para efectuar el anodizado.

En lo que se refiere a los aluminios, todos los usados pudieron ser tratados con el anodizado y el posterior coloreado. Esta práctica no solo pone de manifiesto que es posible mediante este tratamiento dotar de color a un conjunto amplio de aleaciones de fundición, sino que también nos ha proporcionado un amplio muestrario que ejemplifica algunas de las posibilidades que puede ofrecer en distintos aluminios fundidos. Enfatizaremos que, hasta el momento, solo se han localizado muestrarios de empresas especializadas en el anodizado decorativo; es decir, que reflejan posibilidades que se pueden obtener en los aluminios de forja, principalmente los recomendados, bajo sus criterios de uniformidad y estética agradable. Por lo tanto, el muestrario obtenido se presenta como inédito hasta el momento, aportando acabados que contrastan con los proporcionados habitualmente por la producción industrial.

Como ya anunciaban los textos de referencia, las muestras y las esculturas fundidas con aleaciones de aluminio al silicio presentan manchas oscuras y enmascaramientos después del decapado y/o del anodizado. Por lo tanto, hemos podido comprobar que la presencia de este metaloide contribuye a la aparición de irregularidades en la coloración resultante. Con la práctica, hemos detectado que si se requiere es posible aliviar, o incluso en algunos casos hacer desaparecer, el enmascaramiento provocado por los depósitos superficiales, adaptando el tiempo de inmersión en los baños de ácido nítrico (*desmutting*)³⁴.

También se han dado, en ocasiones y de forma localizada, pequeñas manchas blancas. Creemos que estas están vinculadas a la persistencia de ácido sulfúrico del baño electrolítico dentro de los poros surgidos en la fundición. Estos son poros invisibles a simple vista y sospechamos que sus reducidas dimensiones dificultan el neutralizado y la evacuación del ácido sulfúrico acumulado en su interior, saliendo a

³⁴ La palabra *desmutting* proviene de la raíz *smut*, que en castellano significa *tizón*.

la superficie en el momento del coloreado y/o del sellado, impidiendo la fijación del color en el poro y en sus alrededores. Este fenómeno puede ser atenuado mejorando el ciclo de limpieza final, el que se sucede al anodizado y se antepone al coloreado³⁵.

Cabe destacar que las texturas, así como los acabados mecánicos o químicos con los que se dota la superficie de la pieza una vez fundida, tienen un impacto crucial en el tratamiento, solicitando cambios en los ciclos de limpieza; por ejemplo, una superficie brillante demandará un decapado con productos ácidos para liberarla del óxido preexistente y alterar lo menos posible sus cualidades, mientras que una mate requerirá de un decapado alcalino para que este sea eficiente. Este hecho puede dificultar el tratamiento de piezas que combinen distintos acabados superficiales.

Aludiendo a la producción escultórica, se obtuvieron resultados de interés en un conjunto de piezas de morfologías variadas fundidas con aluminios diversos, aplicando el anodizado y coloreado según la demanda conceptual de los y las artistas participantes en la experimentación³⁶. En consecuencia, los resultados reflejan las posibilidades de adaptación de este tratamiento de color a distintos proyectos.

5. CONCLUSIONES

Las experimentaciones realizadas hasta el momento, aunque limitadas, fundamentan la necesidad de plantear una tipología de anodizado distinta a las establecidas hasta el momento por la producción industrial. Los resultados obtenidos demuestran que este tratamiento es capaz de aportar acabados cromáticos, ya sea por el aluminio utilizado, los acabados superficiales infligidos, o por la coloración aplicada, que pueden ser de interés para la producción escultórica en aluminio fundido. Por ello, la investigación efectuada nos proporciona un nuevo enfoque, acercándonos a la posibilidad de acuñar una nueva modalidad de anodizado, el anodizado artístico.

Cabe especificar que en ningún caso se quieren excluir los resultados con carácter artístico que puedan coincidir con los brindados por el anodizado decorativo. Aclaremos que la diferencia entre usar uno u otro apelativo, en el caso que coincidan los acabados obtenidos (uniformes y estéticamente agradables), se centra en si por *decorativo* nos referimos a «apariencia de ser importante sin serlo»³⁷. Tampoco se descartan las aleaciones de forja para el anodizado artístico; simplemente usando esta tipología se realza la libertad en la aplicación del tratamiento en cualquier aleación. Las posibilidades obtenidas hasta el momento solo muestran unos resultados

³⁵ De todas formas, hay que tener en cuenta que los acabados heterogéneos pueden tener su origen en la influencia de las múltiples variables que intervienen en el proceso de anodizado, así como en la aleación utilizada, el resultado obtenido en la fundición y los posteriores acabados mecánicos y/o químicos infligidos.

³⁶ Para consultar las entrevistas realizadas a los colaboradores y colaboradoras, véase Teixidó, *El color en l'escultura d'alumini fós*, 1283-1324.

³⁷ Diccionario de la Real Academia Española, 23.ª ed. s.v. «decorativo», acep. 3.



básicos que serán ampliados a medida que se ponga en práctica esta modalidad y se proceda a nuevas investigaciones.

Así mismo, estos estudios han demostrado la viabilidad del proceso de anodizado y coloreado en los talleres de fundición artística. Los resultados presentados demuestran que, aunque el coloreado mediante el anodizado es novedoso en nuestro campo de estudio, con una infraestructura de complejidad baja y teniendo al alcance algunos datos de guía como los que se ofrecen en el presente documento, esta práctica puede ser accesible para los interesados e interesadas en la materia.

Sin embargo, hasta el momento, debido a las dimensiones de la infraestructura necesaria para abordar otros formatos, el tratamiento se ve limitado a piezas de tamaño reducido. Creemos que a medida que este recurso se vaya implementando en susodichos talleres, será posible asumir el tratamiento de obra de mediano formato. De todas formas, también existe la posibilidad de aprovechar los servicios proporcionados por las empresas especializadas en anodizados decorativos, teniendo en cuenta que tendremos que adaptar nuestro propósito a los procesos que estas utilicen y, por consiguiente, asumir limitaciones en nuestra experimentación.

Queda pendiente, y se plantea como un nuevo reto, investigar nuevos recursos que de forma más accesible y en el propio taller permitan, aprovechando las propiedades del aluminio o de sus aleaciones, aportar color a las esculturas de aluminio fundido de mediano y gran formato.

Por último, hemos visto pertinente incluir, en modo de conclusiones, algunas directrices, recabadas en el transcurso de este estudio, que pueden ayudar a dar entidad y validez a esta nueva propuesta, y servir de guía para futuras investigaciones. En todo caso no se excluye, sino todo lo contrario, que estas puedan ser discutidas, siendo modificadas, ampliadas o rebatidas. En consecuencia, proponemos, en lo referente al anodizado artístico, que:

- Los parámetros de protección y los acabados uniformes y estéticamente agradables no tienen por qué ser un requisito fundamental.
- Las aleaciones de aluminio de fundición, hasta el momento rechazadas por el anodizado decorativo por no cumplir con los parámetros expuestos en el punto anterior, pueden ser la piedra angular de esta nueva categoría, aportando resultados y recursos creativos que hasta el momento han sido descartados. Por lo tanto, concluimos que la elección del aluminio a tratar vendrá dada por la voluntad del artista y los requisitos técnicos de la fundición.
- Las modificaciones en la configuración de las distintas operaciones que se asocian al proceso de anodizado, incluso la supresión de alguno de los baños de los ciclos de limpieza, pueden actuar en beneficio de la experimentación y, por ende, aportar nuevas cualidades expresivas.
- El método de coloración será el que mejor se adapte a los requisitos del artista, a los conocimientos técnicos y a las posibilidades de la infraestructura.
- El límite en las coloraciones será el que venga dado por las posibilidades del método seleccionado, los conocimientos del técnico especializado o del artista/investigador y la creatividad del mismo. En este sentido se pueden considerar las múltiples opciones que ofrecen cada una de las modalidades



de coloración en lo que se refiere a la aplicación de los colores para lograr cromatismos monocromos o policromos (combinación, superposición, degradación, transición...).

Algunos de los anteriores puntos podrán estar supeditados a ciertas consideraciones, como en los casos en los que la obra tenga que ubicarse en un espacio exterior, siendo necesario tener en cuenta la protección del metal o la resistencia del color a la radiación ultravioleta (UV).

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la participación en este estudio de los escultores y escultoras José Antonio Ares, Rubén Campo López, Irene Cases Rodrigo, Matilde Grau, Miquel Planas Rosselló, Teresa Riba, Jordi Torras Jareño, Joan Valle Martí y Joan Villaplana Casaponsa; gracias por vuestro arte. También estamos en deuda con la empresa Grupal Art S.L. por el aluminio y la información aportada (Convenio UB-18060), con la empresa AFV Inicia S.L. por prestarse a experimentar con el anodizado y responder a todas nuestras dudas, y con Barcelonesa de Drogas y Productos Químicos S.A.U. por proporcionarnos los pigmentos en pequeñas cantidades.

RECIBIDO: octubre 2022; ACEPTADO: julio 2023



BIBLIOGRAFÍA

- AFV INICIA. «Los colores del anodizado». Acabados. Consultado el 20 de junio de 2022. <http://www.afvinicia.com/colores-del-anodizado/>.
- ALUMINUM ANODIZERS COUNCIL. *Specifying Anodized Aluminum*. AAC: Technical Bulletin #2-13. Wauconda, IL: ACC, revisado el 6 de julio de 2018. https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/files/Technical_Bulletin2-13_Rev07.pdf.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Anodización del aluminio y sus aleaciones: Estimación de la pérdida de poder absorbente de los recubrimientos anódicos de óxido después del sellado. Ensayo de la gota colorante con tratamiento ácido previo*. UNE-EN ISO 2143:2017. Madrid: AENOR, aprobada el 28 de septiembre de 2017. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060190>.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Anodización del aluminio y sus aleaciones: Vocabulario*. UNE 38019:2017. Madrid: AENOR, aprobada el 2 de noviembre de 2017. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059127>.
- BEELEY, Peter. *Foundry Technology*. 2.ª ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- BENGOUGH, Guy Dunstan y John Mc. STUART. Improved Process of Protecting Surfaces of Aluminium of Aluminium Alloys. Patente británica 223,994. Depositada el 2 de agosto de 1923, publicada el 3 de noviembre de 1924. <https://patents.google.com/patent/GB223994A/en#citedBy>.
- BENGOUGH, Guy Dunstan y STUART, John Mc. Process of Protecting Surfaces of Aluminium or Aluminium Alloys. Patente americana 1,771,910. Depositada el 28 de julio de 1924, publicada el 29 de julio de 1930, 100. <https://patents.google.com/patent/US1771910A/en>.
- BRACE, Arthur W. «75 Years of Sulphuric Acid Anodizing». *Transactions of the IMF* 80, n.º 5 (2002): 177-182. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00202967.2002.11871463>.
- CLARIANT PLASTICS & COATINGS. *Aluminum Finishing: Specific Color Solutions*. Muttentz: Clariant International, 2018. <https://www.clariant.com/es/Business-Units/Pigments/Special-Applications/Aluminum-Finishing>.
- GONZÁLEZ VÁZQUEZ, Karla. «¿En que consiste el anodizado?». *Illuminarte: Anodizado artístico* (blog), última modificación en noviembre de 2014. <https://anodizadoartisticoiluminarte.wordpress.com/2014/11/>.
- GOWER, Charles H.R. y Stafford O'Brien & Partners Ltd. An Improved Process for Providing a Resistant Coating Upon the Surfaces of Aluminium or Aluminium Alloys. Patente británica 290,901. Depositada el 20 de octubre de 1927, emitida el 24 de mayo de 1928. <https://patents.google.com/patent/GB290901A/en>.
- GRUBBS, Charles A. «Anodizing of Aluminum». *Metal Finishing* 105, n.º 10 (2007): 397-412. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(07\)80359-X](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(07)80359-X).
- HENLEY, Vernon F. *Anodic Oxidation of Aluminium and Its Alloys*. Oxford: Pergamon Press, 1982.
- KIKUCHI, Tatsuya, NAKAJIMA, Daiki, NISHINAGA, Osamu, NATSUI, Shungo y SUZUKI, Ryosuke O. *Porous Aluminum Oxide Formed by Anodizing in Various Electrolyte Species*. Hokkaido: Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers, 2015. <http://hdl.handle.net/2115/61963>. Publicado anteriormente como «Porous Aluminum Oxide Formed by Anodizing in Various Electrolyte Species». *Current noscience* 11, n.º 5 (2015): 560-571. <https://doi.org/10.2174/1573413711999150608144742>.

- KUJIRAI, K. y UEKI, S. Rust Prevention Method for Aluminum and Aluminum Alloys. Patente japonesa 61,920, C. Publicada el 3 de diciembre de 1923.
- LAPLANTZ, David. *Artists Anodizing Aluminum: The Sulfuric Acid Process*. Bayside, CA: Press de LaPlantz, 1988.
- LAPLANTZ, David. «Artists Anodizing Aluminum: The Sulfuric Acid Process». 1988. Video, 1:57:17. <https://archive.org/details/ArtistsAnodizingAluminum>.
- QUALANOD. *Directrices de la marca de calidad QUALANOD para el anodizado del aluminio en medio sulfúrico*. Zúrich: Qualanod, en vigor desde el 1 de julio de 2022. <https://www.asoc-aluminio.es/marcas-de-calidad/qualanod-directrices>.
- RUNFOLA, Matthew. *Pátinas: Más de trescientos efectos de coloración para joyeros y orfebres*. Barcelona: Hoaki Books, 2021.
- RUNGE, Jude Mary. *The Metallurgy of Anodizing Aluminum: Connecting Science to Practice*. New York: Springer Cham, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72177-4>.
- SCAMPONE, Giulia y TIMELLI, Giulio. «Anodizing Al-Si Foundry Alloys: A Critical Review». *Advanced Engineering Materials* 24, n.º 4 (enero de 2022): 1-14. <https://doi.org/10.1002/adem.202101480>.
- SKRABEC, Quentin R. *Aluminum in America: A History*. Jefferson, NC: McFarland & Company, 2017. Kindle.
- TEIXIDÓ SIMÓ, Enric. «El color en l'escultura d'alumini fos: Processos experimentals de coloració de l'alumini i els seus aliatges a partir de l'anoditzat». Tesis doctoral. Universitat de Barcelona, 2022. <http://hdl.handle.net/2445/187622>.
- WERNICK, Simon y PINNER, Robert. *Acabados y tratamientos superficiales del aluminio y sus aleaciones*. Trad. César Pérez Prieto y Jaime Alonso Rodríguez. Madrid: Editorial River, 1966.

