



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

El color en l'escultura d'alumini fos

Processos experimentals de coloració de l'alumini i els seus aliatges a partir de l'anoditzat

Enric Teixidó Simó

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

EL COLOR EN L'ESCULTURA D'ALUMINI FOS
Processos experimentals de coloració de l'alumini
i els seus aliatges a partir de l'anoditzat

Volum 1

Tesi doctoral presentada per

Enric Teixidó Simó

Director

Dr. Josep Maria Cerdà Ferré



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Facultat de Belles Arts

EL COLOR EN L'ESCULTURA D'ALUMINI FOS
Processos experimentals de coloració de l'alumini i els seus aliatges
a partir de l'anoditzat

Tesi doctoral presentada per

Enric Teixidó Simó

Director

Dr. Josep Maria Cerdà Ferré

Programa de doctorat

La Realitat Assetjada: Concepte, Procés i Experimentació Artística

Facultat de Belles Arts de la Universitat de Barcelona

2022

Agraïments

M'agradaria agrair al director d'aquesta tesi, el Dr. Josep Maria Cerdà Ferrè, catedràtic d'escultura de la Facultat de Belles Arts de Barcelona, la possibilitat de dur a terme aquest projecte i pel seu acompanyament incondicional. També a tots aquells que han patit o gaudit aquest camí llarg i emocionant, especialment al Dr. Joan Valle, pels anys compartits com a en la docència i per les experiències viscudes, i a la meva germana gran, que quan hi ha de ser i és.

I per últim, a la Irene, que sempre ha estat i espero que sempre hi estigui...
my true love.

Resum

Aquesta tesi doctoral presenta el procés i els resultats d'una recerca sobre les possibilitats de l'alumini fos envers el color, amb un procediment amb pocs precedents en l'escultura com és el de l'anoditzat i acolorat per impregnació.

L'estudi ofereix un recorregut en tres etapes que permeten abordar el tema des de diverses perspectives. Es recull informació sobre els aspectes històrics i tècnics en l'evolució de l'alumini amb especial interès en el seu ús en escultura, realitzant un escandall extens d'artistes i obres, i s'observa la incidència de l'aplicació dels tractaments d'acolorat. Recopila la informació publicada sobre el procediment d'anoditzat i acolorat industrial, elaborant un marc documental per a la comprensió de l'anoditzat artístic, orientat específicament a l'escultura en alumini fos. L'estudi contrasta empíricament aquestes processos en un treball experimental i metòdic amb diversos aliatges de fosa, aplicant els tractaments en escultures d'alumini fos de petit format a càrrec d'un equip d'artistes col·laboradors.

La tesi conclou que l'anoditzat artístic és perfectament viable i innovador, ampliant els recursos creatius aplicats a l'escultura en alumini fos. En la conjuntura actual d'expansió de l'escultura en alumini, aquest tipus d'anoditzat té possibilitats reals de seguir desenvolupant-se des de diversos àmbits com el de la recerca o l'empresarial, aportant perspectives de futur.

Paraules clau: escultura, escultura fosa, anoditzat artístic, alumini.

Abstract

This doctoral dissertation presents the process and results of research on the possibilities of cast aluminium for colour, with a procedure with few precedents in sculpture such as anodizing and colour impregnation.

The study offers a three-stage journey that allows us to approach the topic from a variety of perspectives. Information is gathered on the historical and technical aspects of the evolution of aluminium with special interest in its use in sculpture, conducting an extensive selection of artists and works, and observing the impact of the application of colouring treatments. It gathers the published information on the industrial anodizing and colouring procedure, elaborating a documentary framework for the understanding of the artistic anodizing, specifically oriented to the sculpture in cast aluminium. The study empirically contrasts these processes in experimental and methodical work with various cast alloys, applying treatments to small-format cast aluminium sculptures by a team of collaborating artists.

The thesis concludes that artistic anodizing is perfectly viable and innovative, expanding the creative resources applied to cast aluminium sculpture. In the current situation of expansion of aluminium sculpture, this kind of anodizing has real possibilities to continue developing from various fields such as research or business, providing prospects for the future

Keywords: sculpture, cast sculpture, artistic anodised, aluminium.

ÍNDEX

Introducció	23
-------------------	----

VOLUM 1

Capítol 1: L'alumini	63
----------------------------	----

1.1_Context històric de l'alumini	65
---	----

1.1.1_La importància dels aliatges	73
--	----

1.1.2_L'aeronàutica. Els zepelins i els avions	76
--	----

1.1.3_Els principis de l'anoditzat	79
--	----

1.1.4_La guerra. La indústria militar	81
---	----

1.1.5_Període d'entreguerres	82
------------------------------------	----

1.1.6_La Segona Guerra Mundial	87
--------------------------------------	----

1.1.7_“The aluminium industry in search of a market”. La postguerra	90
---	----

1.1.8_La conquesta de l'espai	94
-------------------------------------	----

1.1.9_Metall amb passat, present i futur	96
--	----

1.2_L'escultura en alumini	105
----------------------------------	-----

1.2.1 _Escultura amb alumini, de mitjans del s. XIX a mitjans del s. XX	111
---	-----

1.2.1.1_Període de transició entre els segles XIX i XX	
--	--

Les primeres aplicacions de l'alumini fos	111
---	-----

1.2.1.2_L'escultura en alumini fos a les avantguardes	119
---	-----

1.2.1.3_La fosa, escultors de les primeres dècades	138
--	-----

1.2.1.4_L'escultura en alumini a les arts decoratives	
---	--

i l'arquitectura de les primeres dècades del s. XX	146
--	-----

1.2.2_L'escultura en alumini a les generacions de postguerra	155
--	-----

1.2.2.1_Els cinquanta	156
-----------------------------	-----

1.2.2.2_Els seixanta	165
----------------------------	-----

1.2.2.2.1_El Pop art i el color	172
---------------------------------------	-----

1.2.2.2.2_L'art minimal i el color	179
--	-----

1.2.2.2.3_El postminimal, l'art d'acció i la desmaterialització de l'objecte	187
1.2.2.2.4_L'art cinètic	190
1.2.3_L'escultura d'alumini de finals de segle XX	197
1.2.3.1_Els setanta	197
1.2.3.1.1_L'art povera i altres artistes italians	202
1.2.3.1.2_Els setanta, cap a una diversitat de propostes	211
1.2.3.1.3_El color en l'escultura d'alumini als 70	219
1.2.3.2_Els vuitanta	227
1.2.3.2.1_L'escultura d'alumini als 80	231
1.2.3.2.2_El color en l'escultura d'alumini als 80	244
1.2.3.2.3_“Artluminium” i el color	252
1.2.3.3_Els noranta	254
1.2.3.3.1_L'escultura d'alumini als 90	258
1.2.3.3.2_Els noranta a la Barcelona Olímpica	277
1.2.3.3.3_El color en l'escultura d'alumini als 90	281
1.2.4_L'expansió de l'alumini a partir del 2000	293
1.2.4.1_“ArquiEscultura” amb alumini	296
1.2.4.2_Escultura amb alumini als 2000	306
1.2.4.3_El color en l'escultura d'alumini dels 2000	337
1.2.5_Llistat d'autors i obres. Observacions i comentaris	361
1.2.5.1_Observacions sobre el període que va de mitjans del s. XIX a mitjans del s. XX	362
1.2.5.2_Observacions sobre el període de les generacions de postguerra	364
1.2.5.3_Observacions sobre el període de finals del s. XX	367
1.2.5.4_Observacions sobre el període de les dècades del s. XXI	372
1.2.5.5_Observacions finals	377
1.2.5.6_Conclusions	381
1.3_Aspectes generals. Propietats i aliatges de l'alumini	387
1.3.1_Aspectes generals	389
1.3.2_Propietats de l'alumini	393
1.3.2.1_Propietats físiques	393
1.3.2.2_Propietats químiques	396
1.3.2.3_Propietats mecàniques	398

1.3.2.4_Propietats tecnològiques	404
1.3.2.5_Propietats toxicològiques	422
1.3.3_L'alumini i els seus aliatges	429
1.3.3.1_Classificació dels aliatges	429
1.3.3.1.1_Segons la seva procedència	429
1.3.3.1.2_Segons el model de transformació	430
1.3.3.2_Sistemes de designació	432
1.3.3.2.1_Sistema de designació de l'Aluminum Association	433
1.3.3.2.2_Sistema de designació de la Unió Europea	436
1.3.3.2.3_Sistema de designació espanyol	439
1.3.3.2.4_Sistema de designació francès	441
1.3.3.3_Components dels aliatges	443
1.3.3.3.1_Coure (Cu)	444
1.3.3.3.2_Silici (Si)	446
1.3.3.3.3_Magnesi (Mg)	450
1.3.3.3.4_Manganès (Mn)	452
1.3.3.3.5_Ferro (Fe)	453
Capítol 2: L'anoditzat i acolorat de l'alumini	459
2.1_Les coloracions en els metalls. Processos de coloració	463
2.2_Les coloracions en l'alumini anoditzat	467
2.3_Principis bàsics de l'anoditzat	471
2.3.1_Anoditzat, ànode i càtode	473
2.3.2_Electròlit	475
2.3.3_Oxidació anòdica	477
2.3.3.1_Model bàsic	477
2.3.3.2_Aportacions al model bàsic	480
2.4_Variables que intervenen en la cel·la electrolítica de l'anoditzat	485
2.4.1_El corrent elèctric	487
2.4.2_El control de la temperatura	491
2.4.3_La regulació del pH	495
2.4.4_La mesura del temps	499
2.4.5_La composició i concentració de l'electròlit	501

2.4.6_El tipus de càtode	507
2.4.7_El tipus d'ànode. L'alumini i els seus aliatges en l'anoditzat	511
2.4.7.1_Procedència i format	512
2.4.7.2_Composició de l'alumini i els seus aliatges de fosa	515
2.4.7.3_El procés de fosa i altres factors influents en l'anoditzat	521
2.5_Classificació dels anoditzats segons les seves prestacions	527
2.5.1_Anoditzats de protecció	531
2.5.1.1_L'anoditzat dur	531
2.5.2_Anoditzats de protecció i decoratius	535
2.5.3_Anoditzat artístic per impregnació	541
2.6_El procés d'anoditzat amb electròlit d'àcid sulfúric. Model bàsic	547
2.6.1_Cicle de neteja. Preparació de les peces a anoditzar	549
2.6.1.1_Desgreixat	549
2.6.1.2_Decapat	551
2.6.1.3_Neutralitzat i "desmutting"	553
2.6.2_Anoditzat	555
2.6.2.1_Infraestructura	555
2.6.2.2_Procés d'anoditzat amb electròlit d'àcid sulfúric	563
2.6.3_Cicle de neteja i segellat	569
2.6.3.1_Rentat i neutralitzat	569
2.6.3.2_Segellat	571
2.7_L'acolorat. Els Banys de color	575
2.7.1_Els colorants	575
2.7.2_Els pigments i l'acolorat per impregnació	581
2.7.3_Variables en la preparació i aplicació del bany de color	585
2.7.4_Procés / Aplicació dels banys de color	589
2.7.5_Segellat del bany de color	591

VOLUM 2

Capítol 3_Metodologia aplicada

3.1_La fosa de l'alumini i dels seus aliatges	613
3.1.1_Paràmetres inicials	615

3.1.2_El Prototip, els models i el sistema de colada	619
3.1.2.1_Criteris de selecció del prototip	619
3.1.2.1.1_Les dimensions del prototip	620
3.1.2.1.2_Aspectes formals del prototip	622
3.1.2.2_El prototip escollit	625
3.1.2.3_Els models de cera. Les reproduccions	627
3.1.2.4_El conjunt de fosa i el sistema de colada aplicat	627
3.1.3_El motlle de closca ceràmica	633
3.1.3.1_Elaboració dels motlles	638
3.1.3.1.1_Materials i capes del motlle de closca ceràmica	638
3.1.3.1.2_Porositat del motlle i el sistema de vents	646
3.1.3.2_Descerat i última capa	647
3.1.3.3_Cocció	653
3.1.3.3.1_Preparatius previs a la colada	654
3.1.4_El forn de fosa i el cremador	657
3.1.5_El gresol	661
3.1.5.1_Antecedents de l'ús de gresols de closca ceràmica	661
3.1.5.2_Elaboració dels gresols	665
3.1.5.3_Avantatges i inconvenients dels gresols de closca ceràmica	668
3.1.6_Alumini i aliatges d'alumini escollits	673
3.1.7_La fosa	691
3.1.7.1_Aspectes rellevants	691
3.1.7.2_Gasos	696
3.1.7.2.1_L'hidrogen	696
3.1.7.3_Inclusions	700
3.1.7.3.1_Òxids	704
3.1.7.3.2_Capa protectora	706
3.1.7.4_Tractaments i Fundents	707
3.1.7.4.1_Desgasificat	709
3.1.7.4.2_Escoriat	714
3.1.8-La colada	719
3.1.8.1_Temperatura, altura i velocitat de colada	719
3.1.8.2_Procediment de colada	729
3.1.8.3_Distribució de les diverses foses	733
3.1.9-Resultats de la colada. Les provetes	735

3.1.9.1_ Refredament dels motlles	739
3.1.9.2_ Observació del comportament del motlle després del refredament. Anàlisi i conclusions	740
3.1.9.3_ Desemmotllat	745
3.1.9.4_ Observació dels defectes originats pel motlle. Anàlisi i conclusions	747
3.1.9.4.1_ Rebaves	747
3.1.9.4.2_ Fuites	750
3.1.9.4.3_ Infiltració de llots	751
3.1.9.5_ Observació del comportament del metall després de la colada. Anàlisi i conclusions	756
3.1.9.5.1_ Anàlisi de la composició química dels aluminis resultants	756
3.1.9.5.2_ Contraccions lineals i volumètriques	760
3.1.9.5.3_ Defectes per contracció	761
3.1.9.5.3.1_ Xuclets o depressions per contracció	762
3.1.9.5.3.2_ Esquerdes i Fractures	769
3.1.9.5.4_ Fractures per impacte	777
3.1.9.5.4.1- Seccions de fractura	788
3.1.9.5.5- Arrugues o plecs	791
3.1.9.5.6- Emplenat incomplet	795
3.1.9.6_ Acabats	801
3.1.9.6.1_ Retirada del sistema de colada	802
3.1.9.6.2_ Tractaments mecànics aplicats	803
3.1.9.6.3_ Acabats superficials definitius	805
3.1.9.7_ Observació dels defectes evidenciats durant els acabats: porus. Anàlisi i conclusions	814
3.1.10_ Conclusions relatives a la fosa	827

3.2_ L'experimentació amb l'anoditzat i l'acolorat de l'alumini.

L'anoditzat artístic	831
3.2.1_ Modalitat d'anoditzat i acolorat aplicat	833
3.2.1.1_ Procés d'anoditzat	834
3.2.1.2_ Procés d'acolorat	835

3.2.2_ Proves realitzades en una empresa especialitzada	837
3.2.2.1_ Paràmetres i Requisits	838
3.2.2.2_ Constants aplicades per l'empresa d'anoditzats en els diferents cicles	839
3.2.2.3_ Resultats Entregats	841
3.2.2.4_ Anàlisi i valoració dels resultats entregats	876
3.2.3_ Proves realitzades en el laboratori de la Foneria UB	879
3.2.3.1_ El Laboratori d'anoditzat i acolorat	879
3.2.3.2_ Preparatius previs / Cicles i Banys	883
3.2.3.3_ Pigments orgànics sintètics seleccionats	888
3.2.3.4_ Posada a punt del laboratori i de les variables	889
3.2.3.4.1_ Calibrat. Paràmetres inicials	889
3.2.3.4.1.1_ Calibrat del desgreixat	892
3.2.3.4.1.2_ Calibrat del temps de decapat	892
3.2.3.4.1.3_ Calibrat dels paràmetres d'anoditzat	897
3.2.3.4.1.4_ Segellat	903
3.2.3.4.2_ Recalibrat	903
3.2.3.4.2.1_ Recalibrat dels paràmetres d'anoditzat	903
3.2.3.4.2.2_ Recalibrat del temps de decapat	907
3.2.3.4.3_ Valors definitius establerts per a l'alumini pur	908
3.2.3.5_ Experimentació amb les provetes dels aliatges. Consolidació del procés	909
3.2.3.5.1_ Anoditzat de les provetes d'aliatges segons els valors establerts per a l'alumini pur	909
3.2.3.5.2_ Recalibrat del desgreixat	909
3.2.3.5.3_ Proves de desgreixat amb els aliatges	915
3.2.3.5.4_ Valors definitius per a tots els aluminis	915
3.2.3.5.5_ Proves d'acolorat	920
3.2.3.5.5.1_ Tons negres i violetes	920
3.2.3.5.5.1_ Acolorat de l'aliatge AB-42200 de 1a fusió	970
3.2.4_ Valoració dels resultats obtinguts en les provetes acolorades en el Laboratori d'anoditzats de la Foneria UB	977
3.2.5_ L'experimentació de l'anoditzat i l'acolorat sobre escultures de petit format ...	985
3.2.5.1_ Infraestructura i utilitatge utilitzat en el procés de fosa	985
3.2.5.2_ Procés de fosa	989

3.2.5.3_ Resultats de la fosa i resum de l'experiència	995
3.2.5.4_ Infraestructura i utilitat emprats per a l'anoditzat i acolorat	997
3.2.5.5_ Anoditzats artístics aplicats	998
3.2.5.5.1_ Mengen or i caguen plom (Joan Valle Martí)	1003
3.2.5.5.2_ <i>Ocult</i> (Miquel Planas)	1023
3.2.5.5.3_ <i>Desprotecció</i> (Irene Cases Rodrigo)	1037
3.2.5.5.4_ <i>Picaportes</i> (Jordi Torras Jareño)	1051
3.2.5.5.5_ <i>Làmines corbes</i> (Martí Ruiz i Carulla)	1061
3.2.5.5.6_ <i>Dafne</i> (Jose Antonio Ares Río)	1079
3.2.5.5.7_ <i>Ni tan blanco ni tan negro</i> (Rubén Campo López)	1095
3.2.5.5.8_ <i>Tocant l'aigua</i> (Teresa Riba Tomàs)	1111
3.2.5.5.9_ <i>Lunam</i> (Matilde Grau Armengol)	1129
3.2.5.5.10_ <i>G-V-B (G1-V-B; G-V1-B; G-V-B1)</i> (Josep Cerdà Ferré) ..	1143
3.2.5.5.11_ <i>Sense títol</i> (Joan Villaplana Casaponsa)	1161
3.2.6_ Valoració dels resultats obtinguts en les escultures de petit format	1177
3.2.6.1_ Condicionants de grandària	1177
3.2.6.2_ Tractament de color en l'obra anterior a l'experiència	1178
3.2.6.3_ El color obtingut amb l'aplicació del procediment d'anoditzat i acolorat	1179
3.2.6.4_ Satisfacció dels artistes col·laboradors amb els resultats i voluntat de continuar experimentant.....	1182
3.2.6.5_ Valoracions dels artistes col·laboradors sobre l'anoditzat artístic	1183
Conclusions	1189
Referències	1199
Annexos	1283

Introducció

0.1_El context

En el transcurs dels més de vint-i-cinc anys d'història del taller de fosa de la Facultat de Belles Arts de la Universitat de Barcelona (a partir d'ara Foneria UB), han anat apareixent múltiples qüestions, entre elles les corresponents amb els processos i els aspectes creatius que s'hi relacionen. Són aquestes qüestions, compartides amb l'equip de treball (docents investigadors i tècnics superiors), a les quals, d'una manera o altra, hem anat i continuem donant resposta.

L'estudi que es desenvolupa en la present tesi doctoral té el seu origen en un taller consolidat, enfortit per les experiències orientades a introduir la tècnica de la fosa en metall en l'activitat artística, docent i de recerca, de l'àrea d'escultura d'aquesta Facultat. És aquest estat de maduresa el que ens ha permès afrontar reptes com el que presentem en aquesta investigació.

En aquest sentit, l'enfocament de la present tesi doctoral està orientat a incrementar els aspectes associats amb les possibilitats creatives de la fosa de metalls i dels processos auxiliars; en concret, dins de l'àmbit dels tractaments superficials i de les coloracions del metall.

La recerca en qüestió va sorgir a partir de la percepció de determinats in-

dicis; aquests donaven peu a considerar que l'alumini¹ no estava tenint la mateixa resposta que el bronze en el món de l'escultura en metall fos. La pregunta, formulada des d'aquesta impressió inicial, de *per què en l'escultura realitzada amb fosa artística, l'alumini semblava tenir una presència limitada?*, no tenia una resposta immediata i en realitat, eren diverses les qüestions a les quals calia respondre.

La pregunta portava lligades tot un rastre d'incògnites: *és real la percepció de la menor presència d'escultura fosa en alumini en relació amb altres metalls, com per exemple el bronze o l'acer? I si és així, com ha evolucionat i evoluciona, l'ús de la fosa d'alumini en escultura? i quines han estat les causes de la seva major o menor acceptació? De quina manera es pot esbrinar aquesta darrera qüestió? Quines són les fonts que ens poden ajudar a obtenir respostes? Etc.*; tot un seguit d'interrogants, la resposta dels quals requeria un complex estudi sistematitzat.

Cal tenir en compte que l'alumini és un metall relativament jove si es compara amb altres metalls i aliatges que tenen una àmplia tradició escultòrica. Aquest fet, juntament amb el seu origen eminentment industrial i la tècnica tradicional a la qual està supeditada la producció d'escultura en alumini de fosa, ens varen donar algunes pistes respecte a les preguntes anteriors.

Arribat el moment de fer conjectures, ens vam plantejar en primer lloc i pel que fa als artistes més innovadors en cada un dels seus respectius

1 El terme alumini s'utilitzarà en la present per a designar, amb la pertinent especificació, el metall pur en els seus diversos graus de puresa. En els casos en què el mot, en singular o en plural, no s'acompanya d'una descripció que referenciï un alumini pur en concret, la paraula farà menció al conjunt de variants d'aquest metall, tant aluminis purs com aliatges.

períodes creatius, que la fosa de metalls pot haver tingut connotacions desfavorables per la seva ortodòxia tècnica o simplement, no ha estat l'eina adequada per a desenvolupar els nous plantejaments proposats pels artistes i, fins i tot, totes dues juntes amb l'afegit d'alguna altra raó no contemplada.

En el cas dels artistes més avesats a fer servir materials i sistemes tradicionals, com és la fosa de bronze, pot ser que la procedència productiva, utilitària i industrial de l'alumini no hagi estat una carta de presentació atraient per a adoptar-lo en les seves creacions, propiciant una inclinació cap als metalls i aliatges més apreciats o consolidats.

Per altra banda, i en relació amb aquesta possible primera valoració desfavorable per part dels artistes, estava la coloració, que sorgeix a causa de l'oxidació natural de l'alumini, dominada per les tonalitats grises o les grises metal·litzades.

A partir d'aquí era raonable pensar que l'alumini fos ha jugat amb desavantatge a l'hora de ser una alternativa, respecte a la fosa de bronze, almenys per a determinats escultors que busquen el color en les seves produccions. En conseqüència i atrets per aquest repte, plantejar-nos recursos i alternatives en el tractament del color per a l'alumini fos era el pas immediat.

Òbviament, en escultura existeix tota una tradició en les maneres d'aportar color afegit. Ronald D. Young i Matthew Runfola, en els seus estudis²,

2 "Contemporary Patination", de 1997 i "Pátinas. Más de trescientos efectos de coloración para joyeros y orfebres", de 2015, respectivament.

tracten les “pàtines falses” com a alternativa a la impossibilitat de dotar de coloracions, mitjançant la pàtina, a l'alumini³. L'obtenció d'aquestes falses pàtines, en el cas dels autors anomenats, se supedita a la utilització de productes formulats comercialment⁴; aquests permeten donar color a partir de les reaccions dels mateixos productes aplicats, essent un succedani de les pàtines químiques.

L'alumini, reprenent la seva condició de metall jove, ha estat des dels seus inicis mancat dels condicionants històrics d'altres metalls; per tant, diguem-ne que exempt de les acotacions artístiques tradicionals. En aquest sentit, han prevalgut, sobre qualsevol altre aspecte, les possibilitats que es refereixen al tractament de la seva superfície amb la finalitat d'aportar-li noves qualitats funcionals i estètiques o reforçar-li les que ja poseix. Entre aquest tipus de pràctiques, que defugen de l'expressió del propi material, són habituals entre d'altres, el lacat i el pintat.

D'aquesta llibertat, heretada de les aplicacions industrials, sorgeix la idea d'ajustar a la creació escultòrica amb aliatges d'alumini de fosa, un tractament superficial tan integrat en la producció industrial com és l'anoditzat.

L'adaptació de l'anoditzat a l'àmbit escultòric no pot imitar en l'alumini, almenys de moment, les possibilitats de coloració que ofereixen les pàtines en el bronze donat que els procediments i el comportament dels metalls són molt diferents. Aquesta creença ens ha empès a experimentar amb el potencial innovador d'aquest tractament per a integrar-lo dins del marc de

³ Vegeu l'apartat 2.1_*Les coloracions en els metalls. Processos de coloració*.

⁴ Com els distribuïts en l'actualitat per l'empresa Birchwood, per a obtenir els negres i els marrons o els Dye-Oxide Patinas, de la marca Sculpt Nouveau, per a la resta de colors.

les belles arts, aquesta nova modalitat la denominarem anoditzat artístic.

En aquestes circumstàncies i sense perdre de vista l'objectiu de dotar a la fosa artística amb alumini de recursos cromàtics, ens hem servit per a l'experimentació, de diversos aliatges d'alumini catalogats de fosa. Aquests aluminis són desestimats en les aplicacions de l'anoditzat industrial anomenat decoratiu o arquitectònic⁵ perquè els resultats que aporten no són satisfactoris en la producció estandarditzada⁶.

Aquest plantejament, que conjumina aliatges de fosa i resultats imprevisibles, defugint l'enfocament estàndard industrial, va suposar una motivació a la vegada que va nodrir de sentit, la proposta. De manera que, des d'un plantejament general sobre l'estat de la qüestió de la fosa d'alumini en l'escultura, vam arribar a un plantejament concret que ens ha dut a investigar sobre el potencial que pot tenir l'adaptació d'un procediment originari de la indústria per aportar color a l'escultura en fosa d'alumini.

⁵ Vegeu l'apartat 2.5_*Classificació dels anoditzats*.

⁶ Complementant aquests aliatges de fosa i per tal de poder fer una comparativa, també s'ha treballat amb un alumini pur (99,5%) i un aliatge de forja, aquests considerats més aptes per a obtenir resultats comercials.

0.2_Motivacions

Des del 2007, any que vaig entrar a treballar a la Foneria UB⁷, el meu interès per la producció escultòrica en alumini fos ha anat en augment.

Les motivacions inicials pel tema d'estudi, el color en l'escultura d'alumini fos, són definides per la pràctica artística personal amb aquest metall i per la voluntat d'incrementar-ne el ventall de possibilitats expressives.

Consultant altres professionals, escultors, docents i fonedors d'ofici, hem pogut observar un distanciament al respecte i també una relativa desco-neixença dels processos, que van més enllà de les possibilitats que ofereix l'oxidació química (pàtines), que poden aportar cromatismes a aquest metall.

De fet, en un sondeig preliminar: les fonerries artístiques visitades i entrevistades del territori català, en els inicis del plantejament del tema d'estudi de la tesi, entre les quals es troben la Foneria Art Buixadé i Campanes EXSO (FABCE), Voragran 2001 S.L., Foneria Artística Ginfer S.L., Simsania S. L. (anteriorment Exametal S.A.), Microfusió i Bronzes S.L. (Foneria Mibrosa) i Vulcano Foneria Artística, ens varen manifestar la impossibilitat de patinar l'alumini; el mateix va succeir amb altres col·legues de la docència i la creació escultòrica. L'expressió comuna entre els escultors i fonedors venia a ser que "l'alumini no es pot patinar perquè el tractament

⁷ Des del 2007 fins al 2021, he exercit de mestre de taller substituït en la Foneria UB. En l'actualitat i des del 2014, formo part de la plantilla de professors associats del Departament d'Arts i Conservació-Restauració de la Facultat de Belles Arts de la UB, impartint part de la meua docència en l'assignatura Edició Escultòrica: Fosa en Metall, Vidre, Mollles, Elastòmers i Resines, que s'inclou dins del grau de Belles Arts.

amb productes químics no aporta les coloracions habituals del bronze”.

Aquesta creença arrelada en la fosa artística denotava que no s'havia investigat amb profunditat altres opcions més pròpies del metall en qüestió. La desconeixença de recursos complementaris i adients per aplicar color a l'alumini ha estat una de les motivacions inicials que ha permès anar definint el tema d'estudi.

L'àmbit escultòric i l'artístic en general té, en no poques ocasions, una desvinculació de les innovacions que ofereixen altres camps d'estudi; potser perquè aquestes presenten certes complexitats o són poc atractives o fins i tot llunyanes, en ser considerades alienes a l'àrea⁸.

En consonància amb l'exposat, les possibilitats d'acolorat que permet l'anoditzat industrial, oferint una àmplia gamma de colors a la producció en alumini, varen ser un altre incentiu; aquestes potencials prestacions per a l'escultura fosa, àmpliament aprofitades en altres disciplines com l'arquitectura i el disseny, configuraven una ruta de treball.

⁸ En aquest sentit, Moreno (2008), en la seva tesi doctoral sobre pàtines aplicades al bronze, feia referència a la necessitat d'explorar altres àmbits d'estudi per a ampliar l'espectre d'actuació en la recerca en Belles Arts:

El conocimiento científico posibilita al artista actual la apertura a nuevos campos de investigación, algo que, dado el estancamiento en el campo de la patinación, resulta de gran utilidad si se dispone del necesario espíritu investigador y se está abierto a la experimentación como es propio en el artista. Así pues, el acercamiento al método científico, nos da la oportunidad de buscar nuevos componentes que, por oxidación, enriquezcan y protejan la superficie de nuestras esculturas. (p. 16)

Uns anys abans, Aguilar (2002) també havia incidit en aquest tema:

El conocimiento de procesos y técnicas industriales para su posterior aplicación o intervención plástica es uno de los ámbitos que nunca se pueden dejar de lado y aunque los objetivos son distintos, los resultados pueden interesar al artista, facilitándole ampliar sus conocimientos y en consecuencia sus recursos. (p. 144)

Finalment es va assumir el repte i amb la finalitat d'adaptar i, per tant, aportar nous recursos a l'escultura amb alumini fos, es va escollir l'anoditzat com un procés amb possibilitats per a obrir noves perspectives sobre el color en aquest camp.

0.3_Hipòtesi

La nostra hipòtesi de treball es fonamenta en l'ampliació dels recursos cromàtics de l'alumini en l'àmbit de l'escultura. Creiem doncs, com hipòtesis de treball, que:

L'anoditzat i acolorat, habitualment emprat en la producció industrial, pot ser adaptat a les circumstàncies dels tallers d'escultura, per aportar un increment en les variants cromàtiques de les obres de petit format foses en alumini.

Encara que desconeixem amb exactitud quines són les causes que han determinat una major o menor acceptació de l'alumini fos, en l'àmbit de l'escultura des dels seus orígens, podem intuir i destacar-ne dos que sorgeixen de comparar aquest metall amb el bronze: per una banda, el seu context tradicional en la fosa artística en contraposició amb el caràcter industrial de l'alumini i per l'altra, la capacitat del bronze de ser patinat químicament amb diverses coloracions, en contrast amb les tonalitats grisenques de l'alumini obtingudes amb processos similars.

És doncs raonable pensar que la manca de possibilitats cromàtiques que ofereix l'alumini fos, a partir de l'aplicació de pàtines químiques, sumades al caràcter industrial que ha anat assolint històricament, poden ser motius suficients per argumentar l'ús restringit d'aquest metall en la producció escultòrica de determinats artistes.

En la tessitura que els procediments que es corresponen a l'anoditzat i

acolorat requereixen l'ampliació de coneixements i d'infraestructures⁹ en el panorama actual de la Foneria UB, ens calia portar a terme un recull documental sobre aquells aspectes específics que ens permetessin definir un model d'anoditzat artístic de l'alumini fos per aplicar-lo en les experiències posteriors, la construcció de les infraestructures convenients i l'experimentació del procediment esmentat sobre diferents aluminis de fosa.

Per al desenvolupament de tot el projecte ha estat necessari consultar les fonts disponibles, la bibliografia apropiada i establir una relació amb altres àmbits de coneixement i de producció, com és el cas del Departament de Ciència i Enginyeria de Materials de la mateixa universitat i empreses relacionades amb l'alumini així com amb l'anoditzat.

⁹ Tenim un precedent similar en els orígens del procediment de fosa amb closca ceràmica els quals van ser industrials; Mr. David Reid i el Dr. Juan Carlos Albaladejo, entre altres, van fer aquesta adaptació d'un procés industrial de closca a un entorn de foneries amb recursos limitats, generalment foneries petites, artesanals o dedicades a la docència.

0.4_Objectius de la tesi

Objectius principals

Aquesta tesi pretén demostrar que el ventall de coloracions i matisos que es poden aplicar a l'alumini i als seus aliatges de fosa, mitjançant el procés d'anoditzat i posterior acolorat, poden aportar recursos de valor en el camp de la fosa artística, tant des de la creació en la producció escultòrica, com des del coneixement, en la recerca.

- El primer objectiu de la investigació és recopilar la informació adequada, per a definir el context de la recerca i adquirir els coneixements que permetin adaptar la tècnica i configurar el procés perquè aquest mètode de coloració pugui ser aplicat a la fosa artística en alumini.
- El segon, comprovar la viabilitat de l'aplicació de color, mitjançant l'anoditzat de provetes d'alumini fos, primerament amb recursos de referència industrial per a posteriori adaptar-los als propis experimentals.
- El tercer, aplicar el tractament, considerant els resultats de les proveïtes experimentals en escultures de petit format i contrastar les valoracions sobre la incidència d'aquest recurs en el context creatiu dels artistes que col·laborin en l'experimentació.

Objectius específics

En el marc de la cerca d'informació, recopilació i anàlisi documental sobre el context de l'alumini, s'han definit tres objectius:

1_Recollir i exposar les fites històriques en la producció i aplicació de l'alumini.

2_Sondejar la incidència de l'alumini en l'escultura dels segles XIX, XX i XXI, donant especial rellevància, en els casos que ha sigut possible, a la seva variant de fosa i a l'aplicació de color a partir de l'anoditzat.

3_Recollir i exposar els aspectes generals de l'alumini i els relacionats amb l'anoditzat d'aquest metall.

En l'àmbit específic de la recerca experimental, els objectius concrets són els següents:

4_Fondre les provetes per a realitzar l'experimentació amb diferents tipus d'aluminis.

5_Anoditzar i acolorar provetes d'alumini fos

6_Anoditzar i acolorar escultures de diferents artistes.

7_Valorar els resultats obtinguts, considerant la viabilitat de l'aplicació i l'interès manifestat pels artistes, a partir de les provetes i de les escultures acolorides.

0.5_Metodologia

En l'estudi de l'estat de la qüestió es constata la manca d'experiències prèvies en l'àmbit de l'escultura relacionades amb el tema d'estudi; per tant, l'anoditzat de l'alumini de fosa i el seu posterior acolorat, ha marcat el caràcter teòric-pràctic de la present recerca.

En aquest sentit, ha estat necessari utilitzar dos vessants metodològics complementaris: per una banda, la centrada en la recopilació i l'anàlisi documental i per l'altra, la de caràcter experimental; la primera és la que es desenvolupa en els capítols 1 i 2 i la segona, en el capítol 3.

0.5.1_Metodologia utilitzada en el capítol 1

Per a elaborar el primer capítol, s'han recopilat els documents que fan referència a l'alumini per a situar-nos en el context històric de la seva evolució i del seu ús, analitzar l'estat de la qüestió en relació amb l'escultura amb alumini fos anoditzat i aportar una breu pinzellada sobre les seves propietats i els components dels seus aliatges.

La història de l'alumini s'ha narrat de forma lineal; l'ordre cronològic s'ha fragmentat emprant els diversos esdeveniments rellevants succeïts en el període històric. Aquests episodis han estat el descobriment de l'element químic, els avenços metal·lúrgics que n'han propiciat la seva ascendent producció i, per tant, aplicació, els períodes de guerra, entre guerres i de postguerra, la carrera espacial, i per últim, les etapes corresponents al final del segle XX i les més pròximes al present, en les quals l'alumini ja

forma part indispensable de la societat actual. Per aconseguir tal propòsit ens hem servit de les fonts literàries secundàries que anteriorment han tractat els fets ocorreguts, així com de fonts primàries, on s'inclouen documents històrics escrits en primera persona pels protagonistes del tema en qüestió; n'és un exemple el llibre “De l'aluminium: Ses propriétés, sa fabrication et ses applications”, escrit el 1859 pel francès Henry Étienne Sainte-Claire Deville, considerat el pare de la industrialització de l'alumini en desenvolupar el primer procés relativament econòmic per a obtenir alumini.

Pel que fa a l'estat de la qüestió de l'escultura en alumini fos anoditzat, s'han consultat catàlegs, llibres, crítiques i pàgines web, per intentar definir quina ha estat la seva presència en les acaballes del segle XIX durant el segle XX, i a principis del XXI. Aquesta tasca ha estat àmplia respecte a la diversitat de fons i àrdua ja que per diversos motius, la utilització de l'alumini, concretament el de fosa, i l'acolorat d'aquest, ha significat en molts dels “corrents artístics”, si més no, anecdòtica, i no cal ni parlar-ne de l'acolorat a partir de l'anoditzat. Val a dir, que en les acaballes del segle passat i en les dues dècades que portem del XXI, la producció en aquest metall ha augmentat sensiblement i les fonts consultades s'han diversificat; malgrat tot, la presència d'escultures acolorades amb l'anoditzat podem avançar que és escassa.

Altrament, s'ha cregut oportú complementar aquest primer capítol amb certs aspectes generals que es relacionen amb el metall tractat, per tal d'aportar la informació necessària que permeti una millor comprensió dels capítols que el segueixen. Per a tal fi, s'ha consultat la literatura especialitzada que tracta els temes relacionats amb les propietats de l'alumini,

els seus aliatges, així com les diverses nomenclatures usades per a classificar-los.

0.5.2_ Metodologia utilitzada en el capítol 2

En el segon capítol, centrat en l'anoditzat i acolorat de l'alumini fos i les variables corresponents, aquests temes han estat tractats quasi totalment, a partir de fonts procedents d'altres camps d'estudi diferents de les Belles Arts i orientats, en la majoria d'ocasions, a l'aplicació industrial. En aquest sentit, posarem en relleu el llibre de Simon Wernick i Robert Pinner, “Acabados y tratamientos superficiales del aluminio y sus aleaciones” (1966), el d'Arthur W. Brace i Peter G. Sheasby, “Technology of Anodizing Aluminium” (1979) i el de Jude Mary Runge, “The Metallurgy of Anodizing Aluminum. Connecting Science to Practice” (2018).

Tot i aquest relatiu inconvenient, relacionat amb la falta de referències que abordin l'aplicació d'aquest tractament superficial en l'àrea de les Belles Arts, hem cregut necessari sumar-nos a les poques iniciatives que s'han esforçat per adaptar aquest procediment a la creació artística, obrint vies per aquesta i futures investigacions, en què és congruent a l'anoditzat i acolorat en l'escultura en alumini fos. Destacarem, encara que el document pertany més a l'anoditzat i acolorat en l'alumini de forja¹⁰, el llibre i el vídeo que porta el mateix nom, “Artists Anodizing Aluminum. The Sulfuric

¹⁰ La classificació del metall i dels seus aliatges, centrada en el sistema d'obtenció de productes a partir de la seva transformació, diferencia entre aquells que són adequats per a ser emprats en processos de forja o de fosa. El mètode de forja fa referència al conformat a través, generalment, del laminat i extrusionat i en canvi, el de fosa es val del canvi d'estat, de sòlid a líquid i la posterior solidificació del metall o aliatges. Vegeu l'apartat 1.3.3.1_ *Classificació dels aliatges*.

Acid Process” (1988 i 1989 respectivament), de David LaPlantz.

0.5.3_Metodologia emprada en el capítol 3

Pel que fa a la metodologia relacionada amb l'aplicació experimental, podem observar dues etapes ben diferenciades:

1- L'elaboració de les provetes amb diferents aluminis, seleccionant prèviament els aliatges d'alumini i l'alumini pur, i experimentant i establint el procediment adequat per a la fosa de les provetes amb els recursos de la Foneria UB.

2- Realització dels assajos experimentals d'anoditzat i acolorat en una primera fase, de les provetes, i en una segona, de les escultures.

En totes dues etapes s'han realitzat les observacions dels resultats i les valoracions corresponents.

0.5.3.1_La fosa de les provetes d'alumini

En aquest apartat, el 3.1, s'ha seguit una sèrie de passes:

1- En primer lloc, s'ha signat un conveni amb l'empresa de refinatge d'alumini Grupal Art, S. L., que ens ha aportat informació molt valuosa i la quantitat necessària d'alumini i d'aliatges d'alumini usats en la recerca. Basant-nos en aquestes informacions i d'altres recollides en els capítols anteriors i considerant la disponibilitat dels aliatges subministrats,

s'ha realitzat una selecció de certs aluminis.

2- Posteriorment, hem dut a terme el conjunt de processos que es relacionen amb la fosa de metall, amb la finalitat d'obtenir les pertinents provetes de cada un dels aluminis seleccionats.

Respecte a l'experimentació pràctica amb la fosa d'alumini, a causa de l'experiència adquirida per l'investigador de la present durant la seva trajectòria professional¹¹ i la documentació específica ja existent sobre la fosa relacionada amb l'àmbit de l'escultura, no s'ha cregut necessari dedicar un capítol teòric previ sobre la fosa de metalls. Així i tot, ens ha calgut consultar alguns dels manuals relacionats amb aquesta tècnica, així com alguns llibres de referència, entre els quals es troben: l'”ASM Handbook, Volume 15: Casting” (2008), de l'ASM International i “Complete Casting Handbook. Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design” (2015), de John Campbell.

L'aplicació del motlle de closca ceràmica a la cera perduda, emprat en la fosa dels models, també ha requerit la consulta de les fonts de referència. En aquest sentit, destacarem la tesi doctoral “Fundición a la cera perdida: Técnica de la cascarilla cerámica” de la Dra. Carmen Marcos i la resta de documents coordinats per aquesta autora on han participat altres investigadors en relació amb aquest tema.

Destacarem la tècnica utilitzada per a l'obtenció de les provetes dels

¹¹ És de rigor esmentar que, l'experiència s'adquireix amb la pràctica, i que aquesta, en el cas de l'autor de la recerca, ha estat compartida amb els companys de fosa el Dr. Joan Valle i el mestre de taller, el Sr. Rubén Campo.

diversos aliatges seleccionats i de l'alumini pur (99,5%); és a dir, la fosa, essent aquesta decisiva per a diferenciar-se d'estudis realitzats sobre l'anoditzat d'aquest metall i els seus aliatges. Les fonts bibliogràfiques que han treballat l'anoditzat des d'un vessant artístic, han elaborat les mostres a partir del cisallat de planxes laminades o de perfil·leria extrusionada. La utilització d'alumini de forja permet obtenir provetes per a l'experimentació de forma ràpida, però en el nostre cas i aquest és un fet diferencial i innovador d'aquesta tesi, ha estat primordial treballar amb provetes de fosa per a determinar resultats coincidents amb els objectius de la investigació.

L'experimentació s'ha centrat a obtenir resultats comparables entre els diversos aluminis, amb la finalitat de valorar les seves qualitats en l'emplenat del motlle i les seves afectacions en relació amb els fenòmens transcorreguts durant la colada i el seu refredament.

Per a assolir aquest objectiu de forma sistemàtica, s'han aplicat els mateixos paràmetres (mida, material, aplicació, forns, temperatura, util·latge,...) que al prototip emprat i els models de cera, el motlle de fosa, el descerat i la cocció i el tipus de gresol i el sistema de colada i s'han modificat, en els casos que per motius relacionats amb les especificacions tècniques s'ha requerit, els productes de desgasificat i escoriat i les temperatures de colada de cada un dels aluminis.

3- Per últim, les provetes han estat mecanitzades per a conferir-les-hi els acabats superficials previstos amb la intenció d'observar les variacions sofertes per les diferents superfícies mecanitzades, en relació amb els tractaments posteriors d'anoditzat i acolorat.

0.5.3.2_ L'anoditzat i el posterior acolorat de les provetes d'alumini obtingudes

L'experimentació ha estat orientada a implementar el procés d'anoditzat amb electrolit d'àcid sulfúric i l'acolorat per impregnació amb pigments, així com el conjunt de cicles, anteriors i posteriors que s'hi relacionen.

S'han identificat les etapes preparatòries del sistema i les associades a les operacions:

1- L'anoditzat i acolorat, en una empresa especialitzada, d'un cert nombre de provetes, cercant primerament, un patró industrial de referència i escollint un ventall de coloracions.

Ens hem servit de l'experiència en el tema d'una empresa especialitzada en anoditzats i acolorats per a obtenir un mostrari de referència, en el qual es reflecteixen en els 12 aluminis seleccionats, els possibles resultats possibles d'obtenir amb 8 dels pigments d'ús habitual en el mercat. Aquest catàleg ens ha servit, en primera instància, per a extreure una primera valoració de les possibilitats que els diferents aluminis seleccionats poden oferir i han estat la referència inicial per a les consegüents experimentacions.

2- La construcció del laboratori experimental d'anoditzat¹² i les corres-

¹² A causa de la falta d'instal·lacions destinades a aquest tipus de tractaments superficials, ha estat necessari construir un laboratori per a dur a terme les experimentacions; en primera instància, en la Foneria UB i posteriorment, en el taller de Maquetes i Models de la mateixa Facultat, la qual cosa ha permès observar la versatilitat en l'adaptació d'aquest a diferents tallers.

ponents operacions de calibrat mitjançant l'anoditzat i acolorat d'una sèrie de provetes.

El calibrat s'ha dut a terme, primerament, amb les provetes d'alumini pur (99,5 %) i posteriorment, amb un recalibrat efectuat amb les provetes corresponents als aliatges.

3- L'anoditzat i acolorat, segons els paràmetres establerts en el calibrat, d'un repertori de provetes.

Un cop obtinguts els valors que s'han cregut adients de les variables del conjunt de processos que es relacionen amb l'anoditzat, s'ha practicat provatures de temps i concentració relatives a dos banys de color seleccionats (negre i violeta) amb la finalitat de testejar la influència de la concentració de pigment en els banys i del temps d'immersió, en les tonalitats adquirides per les provetes; aquesta experiència s'ha realitzat en el conjunt dels aluminis, obtenint un ventall de provetes acolorides amb els colors dels dos banys emprats.

0.5.3.3_L'experimentació amb escultures de petit format

Aquesta última pràctica, que conclou les experimentacions, s'ha desenvolupat de la següent manera:

1- Selecció dels artistes col·laboradors.

Per a practicar l'experimentació escultòrica, s'ha invitat a diversos artistes que tenen o han tingut relació amb la Facultat de Belles Arts de

la UB, a produir una obra escultòrica de petit format amb alumini fos, per a posteriorment ser anoditzada i acolorada.

2- Tria de la coloració per part dels participants i de l'aliatge en funció del tipus d'obra i del color escollit.

Els assajos de color realitzats anteriorment, amb les provetes dels diversos aluminis, han exercit una funció orientativa per als participants i per al mateix investigador en el moment de la tria de l'acolorat i l'aliatge que s'hi relaciona. Tanmateix, en els casos en què s'ha cregut adient, s'ha portat a terme noves provatures de color amb els aliatges seleccionats pels artistes o recomanats per l'investigador.

3- La fosa de metall, amb l'objectiu de materialitzar en alumini fos les peces dels col·laboradors.

El sistema de colades i el motlle de fosa s'ha adaptat a les característiques de cada peça.

En tot cas, s'ha tingut en compte, a partir de l'experiència de l'investigador de la present en la fosa dels diferents aluminis i altres recerques en curs, relacionades amb el so i l'alumini, que s'estan duent a terme paral·lelament amb el grup d'investigadors que s'aixopluga sota el nom de Phoneria¹³, l'elecció de l'alumini més apropiat segons les caracterís-

¹³ Acrònim resultant de la paraula *phonos*, que té el seu origen en el grec antic i significa so i el terme català *foneria*, associat al taller on es du a terme la fosa de metalls.

Aquest grup està format pel catedràtic Josep Cerdà, el Dr. Martí Ruiz, el mestre de taller de la Foneria UB, el Sr. Rubén Campo i l'investigador de la present, el professor associat Enric Teixidó.

tiques de la peça, el sistema de fosa emprat i les qualitats buscades.

4- L'anoditzat i l'acolorat de les peces resultants.

Pel que fa a l'aplicació de l'anoditzat en les escultures aportades, a causa de la variabilitat en les dimensions i la forma de les superfícies de les diverses produccions, ha estat la mateixa pràctica directa i l'experiència prèvia amb l'anoditzat i acolorat de les provetes, la que ha definit les variables dels diversos processos a seguir.

Cal apuntar, que en l'experiència d'anoditzat i acolorat de les escultures, els col·laboradors han estat participis del procés, intervenint activament, com és lògic, en l'acolorat.

5- Entrevista als col·laboradors. Recull d'opinions.

Per a documentar la seva experiència, així com la seva opinió sobre el procés i els resultats obtinguts, s'ha realitzat una entrevista a cada un dels participants; aquesta informació aportada ens ha servit per a complementar una sèrie de fitxes necessàries per a elaborar les conclusions de la present.

0.6_Estructura de la tesi

Seguint els aspectes metodològics esmentats, la tesi desenvolupa el seu recorregut en tres capítols amb una orientació molt concreta per a cada un d'ells:

- El **capítol 1** aporta informació rellevant sobre l'alumini, realitzant una recerca documental sobre l'evolució històrica d'aquest metall, afegeixde-terminats aspectes històrics de l'escultura amb alumini i aspectes fisico-químics del metall i els seus aliatges.
- El **capítol 2** recull la documentació sobre el tractament superficial de l'anoditzat i posterior acolorat de l'alumini i exposa els aspectes fonamentals del procediment.
- El **capítol 3** presenta tota la metodologia aplicada per al desenvolupament experimental del procés de fosa, de l'anoditzat i de l'acolorat, en les diferents etapes.

A aquests capítols s'afegeixen les **Conclusions**, les **Referències** i els **Annexos**.

El contingut dels capítols i dels apartats corresponents, és el següent:

Capítol 1: L'alumini

En aquest capítol es pretén aportar informació bàsica sobre l'alumini. Amb aquesta intenció, s'ha estructurat tres apartats diferenciats:

El 1.1, *Context històric de l'alumini*, que aborda des d'una visió general, el recorregut cronològic d'aquest metall des dels seus inicis fins a l'actualitat.

El 1.2, *L'escultura en alumini*, se sondeja la incidència de l'alumini en l'escultura del segle XIX, XX i XXI, mostrant un seguit d'obres on s'utilitza aquest metall, amb i sense tractament de color, posant atenció en aquelles que han estat acolorades amb el procediment d'anoditzat i cercant les obres d'alumini fos acolorades amb aquest sistema.

El 1.3, *L'alumini. Aspectes generals*, centra el seu contingut en la informació bàsica sobre l'element químic i les seves propietats, així com la informació relacionada amb els aliatges d'alumini i la seva classificació.

Capítol 2: L'anoditzat i acolorat de l'alumini

Aquest capítol és una introducció al tractament superficial de l'anoditzat i a les possibilitats que ofereix. Per a tal fi, s'exposen, els aspectes generals sobre l'anoditzat i l'acolorat de l'alumini, a partir de la informació extreta de les fonts especialitzades. Aquests aspectes inclouen les variables que són pròpies dels diferents processos que s'hi integren, així com les repercussions dels diferents tipus d'aluminis en l'aplicació d'aquest tractament i el posterior acolorat; les tipologies d'anoditzats; un model bàsic sobre l'anoditzat amb àcid sulfúric, electròlit utilitzat en la recerca; i el procés d'acolorat per impregnació a partir de pigments. Aquest segon capítol serveix de fonament per l'experimentació metodològica de l'apartat 3.2.

El capítol 2 consta de set apartats, el contingut dels quals és el següent:

En el 2.1, *Les coloracions en els metalls. Processos de coloració*, es dona una visió sintètica i general dels tipus de coloracions que s'apliquen als metalls des d'un vessant artístic.

En el 2.2, *Les coloracions en l'alumini anoditzat*, es proporcionen unes nocions bàsiques sobre el tractament de l'anoditzat des de la perspectiva de tractament d'acolorat propi del metall.

En el 2.3, *Principis bàsics de l'anoditzat*, s'expliquen els diferents actors que intervenen en el procés electrolític de l'anoditzat, a la vegada que s'exposen els fenòmens que es van succeint en les diferents etapes de la creació del recobriment anòdic.

En el 2.4, *Variables que intervenen en la cel·la electrolítica de l'anoditzat*, tal com indica el títol, s'exposen les diverses variables que intervenen i per tant, influeixen, en els resultats esdevinguts.

En el 2.5, *Classificació dels anoditzats*, es procura una visió general de com són agrupats per l'Aluminum Association¹⁴ (AA) els diversos tipus d'anoditzats depenent de les seves característiques i en conseqüència, de la finalitat amb què s'ha aplicat el tractament. Complementant aquesta classificació s'e n'inclou un altra segons les motivacions amb què ha estat aplicat el tractament i s'afegeix a aquests un nou tipus d'anoditzat, l'anoditzat artístic.

¹⁴ Associació nord-americana que, segons la seva pàgina web, "is the industry's leading voice in Washington, DC. It provides global standards, industry statistics and expert knowledge to member companies and policy makers nationwide. Highly engaged in public policy and technical forums, the Association is committed to advancing aluminum as the sustainable metal of choice around the world" (The Aluminum Association, s.d., par. 1).

En el 2.6, *El procés d'anoditzat amb electròlit d'àcid sulfúric. Model bàsic*, s'exposen els diferents cicles i processos que són aplicats en un procés d'anoditzat estàndard i que serà utilitzat, amb algunes variacions, en l'experimentació de l'apartat 3.2.

I en el 2.7, *L'acolorat. Els Banys de color*, s'incideix en la diferència entre tint i pigment, s'exposen les possibilitats que ofereixen els pigments orgànics sintètics i s'expliquen les variables dels banys de color, el procés d'aplicació a partir de la impregnació per immersió i el segellat final.

Capítol 3: Metodologia aplicada

El tercer capítol exposa de forma seqüencial les diferents etapes del desenvolupament de la recerca. S'estructura en dos apartats: el dedicat a l'experimentació amb la fosa de l'alumini i el que recull l'experimentació amb l'anoditzat del mateix metall.

El primer d'ells, el 3.1, *La fosa de l'alumini i dels seus aliatges*, pretén documentar el procés de fosa seguit per a l'obtenció de les provetes d'alumini, valorar-ne les incidències i concretar els resultats.

Aquest apartat se centra en la primera etapa de la recerca experimental, el context de la fosa i els processos seguits per la fosa de les provetes metàl·liques d'alumini. Per al seu desenvolupament fa un recorregut expositiu en deu subapartats.

En el primer, el 3.1.1, *Paràmetres inicials*, s'explica les raons que determinen la tria de la fosa a la cera perduda amb el sistema de closca ce-

ràmica amb reforç de fibra i les diferents etapes dels processos aplicats.

En el segon, el 3.1.2, *El prototip*, els models i el sistema de colada, es defineixen els criteris que han permès escollir el prototip i les peculiaritats dels models de cera i del sistema de colada.

En el tercer, el 3.1.3, *El motlle de closca ceràmica*, es raona sobre els motius de l'elecció i les característiques del motlle emprat per a fondre les provetes.

En el quart, el 3.1.4, *El forn de fosa i el cremador*, es descriu les característiques del forn de fosa utilitzat, després de la readaptació realitzada per aquest projecte i del corresponent cremador.

En el cinquè, el 3.1.5, *El gresol*, es tracta els antecedents dels gresols de closca, així com els aspectes relatius a l'elaboració dels múltiples gresols fets servir en la fosa dels diferents aluminis utilitzats en la recerca.

En el sisè, el 3.1.6, *Alumini i aliatges d'alumini escollits per a l'aplicació escultòrica i el seu posterior anoditzat*, es relata els diferents tipus d'aliatges usats en la recerca i les raons per les quals s'han escollit.

En el setè, el 3.1.7, *La fosa*, es recullen els aspectes considerats per a dur a terme la fosa del metall de forma eficient: la influència dels gasos ocasionats en el metall fos, les inclusions procedents del procés de fusió del metall i els respectius tractaments per eliminar-ne la presència del metall fos.

En el vuitè, el 3.1.8, *La colada*, es comenten les operacions necessàries per a l'abocament de metall fos dins dels motlles, els criteris considerats i les mesures adoptades, orientant les aportacions que s'inclouen des de la perspectiva de la fosa manual per gravetat.

En el novè, el 3.1.9, *Resultats de la colada. Les provetes*, s'introdueix un estudi sobre els resultats obtinguts a partir de les observacions realitzades durant el procés en quatre estadis diferents: observació del comportament del motlle després de refredament del conjunt colat; observació realitzada en obrir el motlle, dels defectes originats per aquest; observació del comportament del metall una vegada despulat i observació dels defectes evidenciats durant els acabats. En cada un d'aquests apartats es porten a terme valoracions de caràcter deductiu, relatives a les possibles causes dels efectes detectats i un apartat específic respecte a les conseqüències que poden tenir aquests efectes observats sobre la possibilitat d'utilitzar les provetes en l'etapa següent de l'acolorit.

Per concloure, s'afegeix un desè subapartat, el 3.1.10, *Valoracions relatives a la fosa*, on es recullen les apreciacions respecte a la viabilitat de les provetes obtingudes amb els processos descrits. D'aquesta manera, s'identifiquen cada una de les provetes que permetran el desenvolupament de l'etapa següent.

En l'apartat 3.2, *L'experimentació de l'anoditzat i l'acolorat amb pigments. L'anoditzat artístic*, s'indaga sobre les possibilitats d'acolorat que pot oferir a l'escultura d'alumini fos anoditzat.

Aquest apartat se centra en reflectir el sistema emprat per a portar a ter-

me la implementació d'aquest tractament superficial de l'alumini, exposant la metodologia seguida per a obtenir coloracions a partir de l'anoditzat, en les provetes d'alumini foses en l'apartat 3.1 i en diverses escultures proposades per uns quants artistes. Per a tal finalitat, s'ha repartit el seu contingut en sis subapartats.

En el primer, el 3.2.1, *Anoditzat i acolorat seleccionats*, es considera els recursos, pel que fa a l'espai, que pot oferir la Foneria UB; la idoneïtat del procés d'anoditzat i acolorat, en relació amb les possibilitats cromàtiques que ofereix i a l'accessibilitat procedimental o d'infraestructura.

En el segon, el 3.2.2, *Proves realitzades en una empresa externa*, s'exposa el punt de partida de l'experimentació amb l'anoditzat i acolorat, aplicat en les provetes de fosa resultants, dut a terme en una empresa especialitzada amb aquest tipus de tractament, i se'n valoren els resultats obtinguts.

En el tercer, el 3.2.3, *Proves realitzades en el laboratori de la Foneria UB*, s'explica el laboratori mòbil d'anoditzats construït per a l'experimentació i els components i accessoris amb els quals ha estat dotat; es realitza la posada a punt del mateix, prenent com a referència les dades aportades en el capítol 2 i els resultats de les provetes tractades en l'empresa especialitzada d'anoditzats; per últim, s'elaboren assajos relacionats amb el temps d'immersió de les provetes en els banys de color.

En el quart, 3.2.4, *Valoració dels resultats obtinguts en les provetes acolorades en el Laboratori d'anoditzats de la Foneria UB*, es valoren els resultats de l'experimentació i s'il·lustren gràficament, amb imatges realitzades per microscòpia.

En el cinquè, el 3.2.5, *Experimentació de l'anoditzat i l'acolorat per impregnació sobre escultures de petit format*, s'apliquen els coneixements adquirits a partir dels assajos realitzats amb les provetes, en l'anoditzat i la coloració de les diverses escultures. Aquestes experiències es recullen de forma individualitzada en un apartat per a cada artista i obra, en el qual s'introdueixen fragments de les entrevistes realitzades a aquests.

I en el sisè, el 3.2.6, *Valoració dels resultats obtinguts*, es valoren els resultats a partir de l'experiència dels artistes i de la pròpia de l'investigador.

Conclusions

En les conclusions es reflexiona sobre els resultats obtinguts en tot el recorregut, especialment en els apartats metodològics de caràcter experimental i la incidència d'aquests en els objectius plantejats inicialment, fent una valoració final d'acord amb la proposta de la hipòtesi de partida.

Referències

En les referències bibliogràfiques s'inclou el llistat de documents que han estat citats en el text.

Annex

Incorporem documentació addicional inèdita, concretament les entrevistes íntegres realitzades al conjunt d'escultors i escultores que han col·laborat en l'experiència duta a terme.

0.7_Aportacions fonamentals de la recerca

Si ho considerem des del punt de vista de la recerca documental:

- Aquesta tesi ofereix recorregut inèdit, amb un recull d'obres i artistes, que mostra un panorama històric-artístic de l'aplicació de l'alumini en la producció escultòrica de finals del segle XIX, XX i XIX.
- Un recull documental sobre el procediment d'anoditzat i acolorat que fomenta l'adaptació del procediment en els tallers d'escultura.

Si ho considerem des del punt de vista de les possibilitats que ofereixen els aliatges d'alumini en el context tècnic de la fosa:

- Una ampliació del repertori d'aliatges d'alumini, habitualment escàs, utilitzat en l'escultura en alumini fos.

Si ho considerem des del punt de vista experimental:

- La comprovació operativa de la viabilitat de l'aplicació de l'acolorat per impregnació amb el recurs de l'anoditzat en escultures de petit format, foses amb diferents aliatges d'alumini.
- Un ventall, limitat en aquests moments però ampliable en un futur, de solucions concretes d'acolorat, a partir de l'anoditzat i mitjançant el mètode d'impregnació, amb determinats aliatges d'alumini de fosa.

- L'ampliació dels recursos estètics que ofereix l'anoditzat de l'alumini de fosa, prescindint del posterior acolorat per impregnació a partir de la valoració i incorporació de diversos aliatges, també resulta una aportació innovadora. Aquests aliatges han estat classificats com a inadequats en l'àmbit industrial pel seu comportament heterogeni davant de l'anoditzat i el seu posterior acolorat; per aquesta raó no han estat utilitzats en el context industrial. El nou context artístic experimental permet un nou punt de vista.

- Una sistemàtica concreta de procediment, recolzat en un fons documental que contempla diferents aspectes, poc o gens habituals en la fosa de metalls, com per exemple l'aplicació del motlle de closca ceràmica a la fosa d'alumini o l'adaptació d'un recurs, en essència d'aplicació industrial, com és l'anoditzat, per a ser emprat en la producció escultòrica de petit format d'alumini fos.

- Un reconeixement de l'interès, en les possibilitats d'aquesta aportació tècnica, l'anoditzat i acolorat, per part d'una petita mostra més o menys representativa, d'artistes. A partir d'aquesta es pot considerar una valoració positiva de l'aplicació per un sector ampli d'escultors.

Per altra banda, podem deduir de les aportacions, l'interessant potencial latent d'aquesta recerca, ja que s'obtenen resultats que poden donar beneficis en múltiples direccions.

Si ho considerem des del punt de vista de la recerca, entenem que també fa aportacions en obrir noves possibilitats:

- Poden sorgir estudis que centren la seva atenció en com els components dels aliatges d'alumini poden influir en el seu aspecte superficial, tant des de l'anoditzat, com és el cas d'aquesta tesi, així com des d'altres tipus de tractaments.

- Es poden ampliar les línies de recerca relacionades amb la fosa artística; en concret, en aquest cas, tant els tipus d'aliatges d'alumini com el seu acolorat, deixen les portes obertes a l'ampliació dels treballs i a noves investigacions. Pel que fa als aliatges, un repertori ampli pot oferir més adaptabilitat a la diversitat de models amb els quals s'ha d'enfrontar la fosa artística; a causa de la variabilitat en les característiques morfològiques i les exigències tècniques de cada producció, pot ser un recurs a explotar.

- Sense ser innovadors en aquest àmbit, ja que hi ha precedents en recerques anteriors, cal esmentar que amb aquest treball d'investigació es consolida la reflexió sobre l'enfocament multidisciplinari d'una recerca, en aquest cas de caràcter tècnic-artístic, en l'entorn de la Facultat de Belles Arts, així com la col·laboració amb empreses privades i altres àmbits científics i tècnics de la UB, sense les quals aquest projecte hagués estat de difícil solució.

Si ho considerem des del punt de vista empresarial o dels projectes experimentals dels mateixos escultors, la recerca aporta:

- Un repertori d'aliatges d'alumini que es té a l'abast al mercat, per a produir escultura en alumini fos.

- Un procediment descrit detalladament sobre l'acolorat d'aquest metall mitjançant l'anoditzat, aplicable per investigadors, fonderies artístiques i escultors, ja que segons els artistes i les fonderies consultades, les possibilitats que ofereix aquest tractament són útils.
- A més a més, s'aporten dades suficients que poden facilitar la implementació d'un laboratori experimental a la Facultat de Belles Arts de la UB o en altres facultats, obrint possibilitats per a generar sinergies amb altres àmbits.
- La possibilitat que brinda a les empreses especialitzades en l'anoditzat i acolorat de l'alumini, d'ampliar el ventall de la seva oferta, incorporant en la seva cartera de clients els escultors o l'opció de generar empreses especialitzades, o seccions en les fonderies artístiques, per a desenvolupar aquest servei.

Si ho considerem des del punt de vista lingüístic, especialment en el context actual de davallada de l'ús del català, l'aportació també és natural i significativa:

- Uns textos en català, dels quals no es troben precedents en aquesta llengua, especialment sobre els temes històrics-artístics i tècnics.

La conjunció de les aportacions cobreix una llacuna temàtica, donant cohesió a les visions fragmentades de les múltiples fonts internacionals i oferint, sense pretensions d'exhaustivitat, una revisió general en aquest idioma, que suposa també una aportació en el context de l'Estat espanyol i l'internacional.

VOLUM 1

Capítol 1_L'alumini

Aquest és un capítol introductori orientat a contextualitzar la temàtica de la tesi. Amb aquesta finalitat, el capítol 1 aporta:

- Informació sobre el context històric relatiu a l'alumini, recollida en l'apartat 1.1. En aquest punt s'ha inclòs datacions i fites històriques que reflecteixen l'evolució de l'ús d'aquest metall des d'una perspectiva politico-social.
- Un sondeig sobre la seva aplicació en l'escultura de finals s. XIX, s. XX i principis del XXI amb la intenció d'observar la seva evolució i la incidència del color en aquesta pràctica. Malgrat que la tesi s'orienta a l'escultura en alumini fos i acolorat, hem volgut tenir una visió més amplia sobre la incidència del color en els diferents tipus de processos i d'aluminis utilitzats en l'escultura. Aquest sondeig s'exposa en l'apartat 1.2 on es mostra un panorama mediatitzat en la selecció per criteris de rellevància i subjectius de l'autor de la tesi, en relació amb l'escultura realitzada amb alumini, sigui aquest amb aparença metal·litzada o amb tractament de color.
- I un recull dels aspectes generals bàsics sobre aquest material, les seves propietats i els seus aliatges, en l'apartat 1.3. En relació amb els aliatges, també s'esmenten els sistemes de classificació i les nomenclatures més habituals, emprades per a identificar-los en l'àmbit internacional i en l'Estat espanyol, especificant les emprades en aquesta recerca, a la vegada que s'inclouen algunes dades sobre els components més rellevants dels aliatges utilitzats en aquesta.

1.1_Context històric de l'alumini

L'alumini, des del punt de vista del seu descobriment, és un metall jove; hem de tenir en compte que la seva identificació com a element químic no va succeir fins al segle XIX. Essent el tercer element més present en l'es-corça terrestre (8,13%), després de l'oxigen (46,60%) i el silici (27,72%), i el metall més abundant, per damunt del ferro (5%) (Morral, Jimeno i Molera, 1982, p. 406), sembla doncs contradictori que hagi tardat tant a aparèixer en la nostra història.

És cert que cap al 5.000 a.C. (al nord d'Iraq) ja s'utilitzava una argila que contenia silicat hidratat d'alumini per a fabricar ceràmica i que les civilitza-cions antigues com l'egípcia, la babilònica, l'àrab, l'Índia, la grega i la ro-mana empraven l'"alum" (del llatí alumen, -inis, alum), una sal doble d'alu-mini i potassi, de vegades com a astringent, antibacterià o cicatritzant, en el camp de la medicina, de vegades com a tractaments estètics o per a mordentar teles que després havien de ser tenyides¹. En aquella èpo-ca era anomenat "metall de l'argila" o "sal alum", entre d'altres (Enghag, 2004, p. 823 Richards, 1896, pp. 1-2).

La principal raó per la qual l'alumini no fou utilitzat amb anterioritat com a metall pur o aliat és degut al fet que no es troba com a metall natiu en la naturalesa², essent comú trobar-lo unit a òxids i silicats (Sheasby i Pinner, 2001, p. 2); aquest fet reclamava, per al seu processament, uns avenços

1 Avui en dia encara són vigents alguns d'aquests usos com el desodorant i el mor-dentat.

2 Metalls nadius: aquells que es poden trobar en estat pur en la natura.

en la metal·lúrgia que no arribarien fins al s. XIX³.

No varen ser pocs els investigadors implicats en el descobriment i el posterior aïllament de l'alumini. Es podria considerar una autèntica cursa de relleus la que varen protagonitzar diferents químics a finals del segle XVIII i principis del XIX per tal d'assentar les bases que conduirien al naixement de l'element amb nombre atòmic 13.

El primer a indicar que l'alum havia de contenir una base desconeguda fou Georg Ernst Stahl (1660-1734), metge i químic alemany; els seus estudis els va continuar el seu compatriota Johann Heinrich Pott (1692-1777), químic que el 1746 va declarar que la base de l'alum tenia que ser una "terra" argilosa. Seguint amb l'estela de Stahl, el seu deixeble, el químic alemany Andreas Sigismund Marggraf (1709-1782) intentà separar la base desconeguda, però no va ser fins al 1782 que Antoine Lavoisier (1743-1794), químic, biòleg i economista francès, extreia fora de les "terres rares", nom comú utilitzat per al conjunt dels òxids de metall, l'alúmina⁴. En aquells moments l'alúmina encara era considerada com a substància simple, però Lavoisier ja intuïa que això no era així i que es podria subdividir en més

3 Durant la 1a i la 2a Revolució Industrial, esdevingudes durant el s. XVIII i XIX, la Ciència (Revolució Científica) es converteix en el motor del progrés tecnològic i la societat es transforma radicalment amb la mecanització, la industrialització i l'aplicació de descobriments mèdics, provocant canvis profunds.

Els avenços metal·lúrgics que propiciaren l'obtenció d'alumini van anar lligats a les millores energètiques. Les investigacions realitzades per Henrich Buff (1808-1878), físic i químic alemany, publicades el 1857, informen que l'obtenció d'alumini a partir de l'electròlit de criolita és un procés possible; però, en tot cas, l'energia disponible en aquell moment no permetia que fos un procés viable. Això succeïa 29 anys abans del descobriment, centrat en el mateix electròlit (procés Hall-Heroult) que revolucionaria, juntament amb altres descobriments, la producció d'aquest metall (Runge, 2018, p. 92).

4 Òxid d'alumini.

elements (Aravena, 1952, p. 5).

El químic suec Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) i el britànic Elmer Humphry Davy (1778-1829)⁵, seguint les investigacions de les substàncies simples de Lavoisier, varen intentar separar l'alumini del seu òxid (l'alúmina) mitjançant corrent elèctric sense obtenir resultats positius⁶. El 1808, Davy estava tan segur que això era possible⁷ que sense haver obtingut resultats positius ja li atorgà, a aquest nou element, el nom de "alumium" que més tard canviaria, per tal que s'adaptés a les terminacions llatines dels elements, per "aluminum" (Aravena, 1951, p. 5; Richards, 1896, pp. 5-6).

Es creu que el primer a aïllar l'alumini, mitjançant l'electròlisi, va ser el físic danès descobridor de l'electromagnetisme, Hans Christian Ørsted, el 1825. Horacio Aravena (1951) ho exposa, amb paraules del mateix Ørsted, de la següent manera:

Calentando el «cloruro de alúmina» rápidamente con amalgama de potasio, se forma cloruro de potasio y amalgama de aluminio. Esta

5 Considerat el fundador de l'electroquímica gràcies al corrent elèctric que proporcionava la pila d'Alessandro Volta (1745-1827) que donà pas als descobriments dels efectes magnètics, químics i tèrmics de l'electricitat, i a Michael Faraday (1797-1867), en aquells moments assistent de Davy, descobridor de les Lleis de l'electròlisi.

6 El corrent elèctric es comença a fer servir com agent reductor en la recerca de nous elements químics.

7 En el seu pròleg que obre el llibre de Humphry Davy, "Ultimos dias de un filosofo", Camilo Flammarión narra els precedents que tenia Davy per argumentar aquesta certesa. Des del 1807, any en què Davy va descobrir el potassi (K) gràcies a la pila elèctrica, els metalls que va aconseguir aïllar mitjançant aquest recurs varen ser el sodi (Na), el bari (Ba), l'estronci (Sr), el calci (Ca) i el magnesi (Mg) (Davy, 1915, Pròleg, pp. 10-11).

se descompone con prontitud en contacto del aire. Por destilación de la amalgama formada, fuera de la acción de la atmósfera, se produce una masa metálica, que, en color y brillo, recuerda en algo al estaño». En su comunicado, Oersted advierte que su experimento no es completo y, por tanto, puede ser perfeccionado. (p. 7)

Segons sembla, el mitjà de difusió en el qual es van publicar els avenços de Øersted tenia una repercussió limitada, motiu pel qual el primer aïllament, encara que amb impureses de l'alumini, no va tenir el ressò merescut. Qui va continuar amb els seus estudis, dos anys després (1827), va ser el químic alemany Friedrich Wöhler (1800-1882), aïllant-lo en forma d'una pols grisa. La divulgació de l'èxit de Wöhler sí que va aconseguir l'impacte desitjat, sembla que passant per damunt de Øersted, i va ser proclamat el descobridor del nou element metàl·lic (Aravena, 1951, p. 7; Richards, 1896, p. 7).

El procés que aplicà Wöhler era laboriós i el 1854, el químic francès Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881) va poder simplificar-lo, però així i tot seguia sent costós i complicat⁸. Tal era la dificultat per a l'obtenció d'alumini que el 1855 quan Sainte-Claire en l'Exposició Universal de París, presentà en societat uns petits lingots d'alumini, en aquell moment conegut com a "plata de la terra" o "plata d'argila"⁹, aquests foren exhibits en el mateix context que les pedres precioses i les perles de les joies de la corona fran-

8 A Sainte-Claire se'l podria considerar el fundador de la indústria de l'alumini (Richards, 1896, p. 9).

9 El químic alemany Clemens Winckler (1838-1904) explica en un escrit de l'any 1879 que aquest fou el nom amb el qual es va donar a conèixer en l'Exposició (Richards, 1896, pp. 18-19).

cesa, però en diferents palaus (Morral, 1982, p. 407; García, 2016, p. 14).

Napoleó III Bonapart (1808-1873), en aquells moments emperador de França (1852-1870)¹⁰, fascinat per aquest metall, li oferí el seu mecenatge. Sainte-Claire, aprofitant l'oportunitat que se li presentava per a seguir investigant sense preocupar-se dels aspectes econòmics, obtingué alumini per a cobrir les excentricitats del monarca¹¹ (Sainte-Claire, 1959, pp. 6-7).

Així doncs, en un curt període de temps s'aconseguien avenços significatius en el "naixement" de l'alumini, però encara no foren prou rellevants per a parlar d'aquest metall com el coneixem avui en dia. En comptes d'això, l'alumini es transformà en un metall preciós amb un valor que arribà a superar el de l'or i la plata.

Sainte-Claire va començar a fer provatures amb la criolita, mena que aproximadament conté un 25% d'alúmina¹². Fins al moment, els experiments que havia portat a terme estaven orientats a extraure directament alumini de la mena; aquest procés era poc rendible, costós en el sentit econòmic

10 Fou l'últim monarca de França.

11 Entre les que es podien trobar un sonall elaborat amb alumini i pedres precioses per al seu fill i una vaixela i coberteria, reservada als invitats que tenia amb més alta estima, mentre que la fosa en or, la destinava a aquells que no posseïen la seva simpatia (Ashby, 1999, p. 81; Enghag, 2004, pp. 825-826; Montes i Ternera, 2019, p. 30; Richards, 1896, p.13).

12 Tal com explica Morral (1982): "Entendemos por mena los productos geológicos susceptibles de aprovechamiento por el hombre, enriquecidos en algún elemento químico" i també especifica que "la mena esta formada de dos partes: el mineral, porción relativamente rica en el metal o elemento que se desea obtener, con composición química definida, que aparece naturalmente en el estado solido, y la ganga, el estéril o desperdicio" (p.33).

i en qüestió de matèria primera, ja que se'n requeria molta quantitat per aconseguir molt poc alumini. Aquestes noves provatures, centrades a realitzar un pas intermedi, és a dir, extraure l'alúmina de la criolita i després, de l'alúmina extraure l'alumini, varen resultar fallides (Sainte-Claire, 1859, pp. 96-134). En les seves investigacions, també va realitzar uns primers aliatges d'alumini precoços, però força encertats. Ens parla dels aliatges conformats amb coure com a molt útils per la seva duresa per als tallers de fosa i cisellat d'escultura i recomana un aliatge amb un 2 o 3% de coure (Sainte-Claire, 1859, p. 150). Podríem dir que fou l'avantpassat del duralumini, del qual en parlarem en els apartats que segueixen.

Cal puntualitzar que ja feia uns anys, el 1821, el geòleg francès Pierre Berthier (1782-1861) havia descobert la bauxita¹³ (Richards, 1896, pp. 40-41). A causa del seu alt percentatge d'alúmina, entre un 45 i un 65%¹⁴ (Enghag, 2004, p. 829), es convertiria en la mena més rendible, seguida de la criolita. Les altres com el corindó, el feldespat, la mica, el caolí i les argiles, ofereixen un molt baix percentatge. És d'estranyar que Sainte-Claire no fos coneixedor d'aquesta mena més rica.

Pels constants avenços en la producció d'alumini, en pocs anys aquest es va anar devaluant ja no era més preuat que l'or, desprenent-se de la categoria de metall preciós i el seu valor de mercat ja era inferior al de la plata¹⁵; ja es veia venir que tard o d'hora faria companyia als metalls comuns.

¹³ Nom que li es definit per la proximitat de la troballa a la ciutat de *Les Baux-de-Provence* (França).

¹⁴ Per a extreure 1 kg d'alumini són necessaris 5 kg d'alúmina que és la quantitat que s'aconsegueix de 10 kg de bauxita (de la Poza, 1991, p. 18).

¹⁵ Segons Sainte-Claire (1859), el quilogram d'alumini valia 75 francs mentre que el de plata rondava els 220 francs de l'època (pp. 15-16).

Però aquest fet no va evitar augurar el gran potencial que amagava aquest valuós recurs. L'alumini tenia pocs anys d'antiguitat quan el 1857, Charles Dickens (1812-1870), el famós escriptor britànic, ja escrivia sobre un metall futurista (Dickens, 1857, com es va cita en Rubinos, 2008):

En el transcurso de los últimos dos años... un tesoro ha sido adivinado, desenterrado y traído a la luz... qué pensaría usted de un metal tan blanco como la plata, tan inalterable como el oro, tan fundible como el cobre, tan duro como el hierro, maleable, dúctil, y con la cualidad singular de ser más ligero que el cristal? Pues este metal existe, y en cantidades considerables, en la superficie de la Tierra.

Las ventajas derivadas de un metal dotado de dichas cualidades son fáciles de entender. Su lugar futuro como materia prima en todo tipo de aplicaciones industriales es incuestionable, y lo veremos pronto, en una forma u otra, en las manos del mundo civilizado. (p. 33)

El 1865, el pare de la ciència-ficció, el francès Julio Verne (1828-1905), també escrivia en el seu llibre "De la Tierra a la Luna" sobre aquest material i les seves qualitats, com a indispensable per a dur a terme aquest viatge espacial. Això es narrava vint anys abans dels increïbles avenços que s'esdevindrien relacionats amb l'augment de la producció d'alumini i a un segle de què l'Apollo 11 fos enviat a l'espai:

Sin duda, amigos míos. Ya sabéis que un ilustre químico francés, Henry Sainte-Claire Deville, llegó en 1854 a obtener el aluminio en masa compacta. Este precioso metal tiene la blancura de la plata,

la inalterabilidad del oro, la tenacidad del hierro, la fusibilidad del cobre y la ligereza del vidrio. Se trabaja fácilmente, abunda en la naturaleza, pues la alúmina forma la base de la mayor parte de las rocas; es tres veces más ligero que el hierro, y parece haber sido creado expresamente para suministrarnos la materia de que se ha de componer nuestro proyectil. (Verne, 2018, p. 49)

Varen ser dos químics en dos continents diferents, els que el 1886, en un marge temporal de pocs mesos, van revolucionar el procés d'obtenció de l'alumini. Un fou el químic nord-americà Charles Martin Hall (1863-1914) i l'altre el francès Paul Louis-Toussaint Héroult (1863-1914)¹⁶ (Beck, 2014, pp. 36-37; Campos, 1985, p. 170). El procés, anomenat Hall-Héroult, es basa en l'obtenció d'alúmina, prèviament dissolta en un bany de criolita fosa, a partir de la seva electròlisi¹⁷.

Un any després, el 1887, aquest procediment s'aplicava a escala industrial. Tot i que aquest permetia, d'una manera eficient, transformar l'alúmina en alumini, faltava optimitzar el procés anterior, el de l'extracció de l'alú-

¹⁶ Hall fou el cofundador i vicepresident de l'empresa The Pittsburgh Reduction Company (1886). Més endavant, el 1907, canvia el nom per The Aluminum Company of America i el 1998 es convertí en Alcoa, encara en actiu.

Héroult fou el cofundador i director, l'any 1886, de l'empresa Société Metallurgique Suisse. Dos anys més tard, associant-se amb altres empreses, crea l'Aluminium Industrie Aktiengesellschaft Neuhausen. També destacarem que fou l'inventor del forn d'arc elèctric (Fraile, J., 2006, pp. 292-293).

La invenció d'aquest procés va estar envoltat de moltes coincidències, ja que la descoberta fou relativament quasi simultània i curiosament, els dos químics nasqueren el 1863 i moriren el 1914.

¹⁷ La invenció de la dinamo, per l'inventor francès Hippolyte Pixii (1808–1835) basant-se en els descobriments sobre l'electromagnetisme del químic francès Michael Faraday (1791-1867), va propiciar grans avenços en el camp de l'electròlisi.

mina de les seves menes (majoritàriament bauxita).

Un austríac, el químic Carl Josef Bayer¹⁸ (1847-1904), ho aconseguí el 1887, any en què realitza la seva primera patent. Però, no va ser fins quatre anys després que va perfeccionar el procés que permetia obtenir alúmina de forma més assequible, mitjançant la trituració de la bauxita i la dissolució, en recipients a baixa pressió, dels compostos d'aquest mineral que contenen alumini, en hidròxid de sodi (NaOH) (Habashi, 1995, p. 17).

Així doncs, mitjançant el procés Hall-Héroult i el procés Bayer¹⁹, en un espai temporal de tres anys, s'aconseguí que la producció d'alumini es disparés a xifres impensables i s'abaratís; les 13,3 tones mundials de 1885 es convertiren en 6.098 tones el 1899²⁰ (Belli, 2012, p. 31; U.S. Geology Survey [USGS], 2018).

1.1.1_La importància dels aliatges

Sainte-Claire i els seus contemporanis ja van experimentar en el segle XIX amb la formulació d'aliatges d'alumini per a dotar d'altres propietats beneficioses al metall pur, fins al moment destinat als objectes de luxe i a l'art, que els van obrir les portes al món industrial (Sainte-Claire, 1859, pp. 140-153).

¹⁸ Fill de l'empresari alemany Friedrich Bayer (1825-1880), fundador de la químicofarmacèutica Bayer AG.

¹⁹ Avui en dia, aquests processos encara són uns dels principals mètodes industrials utilitzats per a la producció d'alumini.

²⁰ Afegirem que aquests avenços en la producció i l'abaratiment foren possibles gràcies al fet que la indústria començà a disposar de corrent elèctric en grans quantitats.

A la lleugeresa, la resistència a la corrosió i l'elevada conductivitat, tant elèctrica com tèrmica, se li havia d'intentar sumar millors propietats mecàniques que l'hi permetessin ser competitiu amb altres metalls i aliatges altament assentats en el circuit productiu.

Tanmateix, encara que els aliatges que es disposava fins al moment no oferien les millors garanties, un cop fou possible obtenir alumini de forma "fàcil" i "econòmica", la seva expansió en tots els mercats on el metall tenia algun protagonisme fou inevitable. Es podia trobar en els utilitatges de cuina, substituint el coure i el ferro, ja que oferia a part de lleugeresa, un ràpid escalfament i refredament i propietats "inoxidables"²¹ (Simcoe, 2014a, p. 32); en els trens²² i en els automòbils²³, de forma simbòlica ja que en aquests mitjans de transport, l'alumini no va tenir efectes significatius fins ben entrats els anys vint (1920), a remolc dels avenços produïts en l'aeronàutica²⁴, integrant-se en els elements estructurals i de la carrosseria (Genta et al, 2014, p. 20); en els vaixells, on es va experimentar

21 En aquells moments encara no s'havia definit l'oxidació de l'alumini com a tal.

22 La primera aplicació en aquest mitjà de transport data de 1984, i s'implementa en els marcs d'alumini dels seients del tren comunament conegut com el New Haven, que operava en la regió de Nova Anglaterra (Estats Units) (Skillingberg, 2007, p. 8)

23 Aquesta indústria ja feia temps que s'estava desenvolupant; el primer cotxe de vapor data de 1769.

El pas del carro, vehicle estirat per animals o per algun mecanisme que possibilitava aplicar la força humana per al seu moviment (amb excepció del carro de vela), al concepte de cotxe seria definit per la introducció d'un motor en el sistema de desplaçament, capaç de transformar l'energia en energia mecànica, fet que possibilita que es desplaci de forma autònoma, automòbil. (Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1906, pp. 478-479).

24 Cal assenyalar alguna excepció com la carrosseria del *Jamais Contente*, primer automòbil a superar els 100km/h, que el 1899 va ser construïda amb panells corbs d'un aliatge d'alumini que contenia coure i zenc (Genta et al, 2014, pp. 143-144).

una intensa demanda durant l'interval del 1890 i el 1900 amb la intenció d'alleugerar el pes de les embarcacions i guanyar en velocitat, donant en un principi molts bons resultats; fet que va demostrar el *Defender*, iot guanyador de la Copa Amèrica de 1895, construït amb fusta, bronze, acer i alumini (Jones, 2004, p. 67).

Un d'aquests primers aliatges, destinats a millorar la duresa de l'alumini per a ser utilitzat en aplicacions constructives, fou el duralumini²⁵, el qual hem anomenat amb anterioritat en la seva etapa més precoç ja que no fou fins al 1907, a Alemanya, que aquest aliatge fou formulat i tractat perquè oferís una duresa superior (Campos, 1985, p. 172). Però la utilització d'aliatges rics en coure com el duralumini per a obtenir "aluminis" més resistents, amagava un inoportú inconvenient en l'alt nivell de corrosió que afecta el coure i que es va veure incentivada, en el cas de les embarcacions, pel clorur de sodi (sal) i l'oxigen de l'aigua del mar, paralitzant-ne els avenços²⁶ (Vargel, s.d., pp. 11-12).

25 El nom de l'aliatge no ve de conjuminar "dur" i "alumini", sinó per l'empresa que va adquirir els drets de l'aliatge, la Durennes Metalwerke que estava situada a la ciutat de Düren (Alemanya) (Williams, T., 1990, p. 187).

En el duralumini els elements de base són l'alumini, el coure ($\pm 3,5\%$) i el magnesi ($\pm 0,5\%$), encara que amb el temps se li ha anat afegint altres elements que han donat peu a altres variants; com deia Sainte-Claire, és un aliatge dur, però la seva màxima duresa ve donada després dels postractaments tèrmics aplicats (Guliáev, 1983, pp. 225-235).

El metal·lúrgic alemany Alfred Wilm va realitzar per primera vegada aquest aliatge de manera accidental el 1909. Després de comprovar en primera instància que no aportava més duresa a l'alumini, el va deixar abandonat uns dies al laboratori i quan va tornar, va comprovar que aquest s'havia endurit; aquest tractament s'anomenaria, més endavant, enduriment per envelliment (Williams, T., 1990, p. 187; van der Linden, 2019, p. 30)

26 Els aliatges d'alumini són susceptibles de patir efectes corrosius quan s'exposen a l'aigua de mar i a l'atmosfera marina i quan es troben en contacte amb altres metalls com el bronze i el ferro, que formen part del sistema estructural dels vaixells; aquesta última és l'anomenada corrosió galvànica. Els aliatges que contenen coure tenen una especial sensi-

1.1.2_L'aeronàutica. Els zepelins i els avions

L'inventor del primer globus dirigible fou el francès, expert en màquines de vapor, Henri Giffard (1825-82) que el 1852 alçava el seu primer vol controlat, pilotat per ell mateix. Molts van ser els inventors que van voler dissenyar el seu propi dirigible, però es va haver d'esperar més de quaranta anys (1899) a què l'inventor i enginyer brasiler, resident a França, Alberto Santos Dumont (1873-1932) realitzés reeixits vols aplicant els coneixements que els seus col·legues havien desenvolupat amb anterioritat, aportant lleugeresa, potencia i maniobrabilitat a les seves naus²⁷ (Lázaro, 2013, p. 26). És en el camp de la lleugeresa on l'alumini seria considerat com un recurs indispensable però car.

Els dirigibles es dividiren en tres sistemes constructius segons si eren flexibles, semirígid o rígids. El 1898, l'inventor austríac David Schwarz (1850-1897) va construir un dirigible rígid que emmagatzemava 3.700 m³ de gas, conformat per una capa exterior de planxes d'alumini de 0,2 mm de gruix (Gassiot, 1943, p. 31; Lázaro, 2013, p. 18). Prosseguint el treball

bilitat a la corrosió (Vargel, s.d., p. 12).

En l'última dècada del segle XIX, es coneixia l'oxidació natural que sofreix l'alumini però encara no s'havia desenvolupat l'anoditzat de protecció tal com el coneixem ara. Tot i això, la corrosió de l'alumini en condicions marines encara avui és tema d'estudi. Per a intentar pal·liar aquest efecte s'utilitzen aliatges "inoxidables" que contenen Mg o Mn, i s'està investigant en sistemes de protecció més eficients (Fang, Cao i Guan, 2020).

²⁷ Lázaro (2016) explica la voluntat de Dumont d'apropar l'experiència de volar a qual-sevol persona de la següent manera:

"El aviador brasileño quería que cualquier ser humano pudiera experimentar el placer de volar. La mejor evidencia es que, en plena fiebre inventiva —y competitiva— aeronáutica de principios del siglo XX, nunca patentó sus aeronaves y permitió la libre difusión de los planos de las mismas". (p. 24)

de Schwarz, va ser l'inventor Ferdinand von Zeppelin (1838-1917), militar alemany retirat, l'impulsor d'aquesta tipologia d'aeronaus. El 1900 va inaugurar el seu primer zepelí i les góndoles on se suspenien els passatgers, la tripulació i el motor es fabricaren en alumini. Val a dir que Von Zeppelin no estava sol en l'afany de conquesta l'espai aeri, tal com ens explica Carlos Lázaro (2016):

El verdadero competidor técnico y comercial de Zeppelin fue la sociedad formada por el ingeniero Johann Schütte y el industrial Karl Lanz. Schütte y Lanz tuvieron el acierto de fabricar un dirigible más económico al dotarlo con un armazón rígido articulado construido en madera cuya estructura se fijaba con un pegamento de caseína y se reforzaba con alambre. Esta combinación de materiales proporcionaba una superficie de envuelta más limpia, elástica, aerodinámica y barata que el gigantesco armazón de aluminio empleado por Zeppelin. (p. 37)

Durant les tres primeres dècades del segle XX, els zepelins eren les aeronaus del moment. Els dirigibles foren utilitzats per militars (van der Linden, 2019, p. 31) i per al transport civil. Els viatges de llarga durada, transatlàntics, no arribaren fins al 1928 i s'acabaren el 1937 amb l'incendi del dirigible *Zeppelin LZ 129 "Hindenburg"* (Lázaro, 2013, pp. 214-216; Torenbeek i Wittenberg, 2009, p. 36). Aquest dirigible es construï el 1935 i junt amb el seu germà bessó (*LZ 130 Graf Zeppelin II*), era el més gran mai construït (245 m); més gran que un *Boing 747* (70 m) i 23 metres més petit que el *Titànic*. Pesava 130 tones i el seu esquelet intern estava construït amb bigues de duralumini, aspecte que li conferia rigidesa i lleugeresa, essencial per a l'eficiència d'aquestes naus (Dick i Robinson, 1985, pp. 83-91).

Tal era la bogeria de l'alumini i la seva lleugeresa que, per amenitzar el viatge dels passatgers, el "Hindenburg" disposava d'un piano fabricat amb aquest metall (Prentice, Beilock i Phillips, 2004, p. 6).

En paral·lel, en el mateix camp de l'aviació, de mans d'inventors i aventurers com l'alemany Otto Lilienthal²⁸ (1848-1896), el brasiler Santos Dumont²⁹ i els germans nord-americans Orville Wright (1871-1948) i Wilbur Wright (1867-1912), els avions també estaven tenint un impuls important i per descomptat els metalls lleugers estaven sent considerats (Warleta, 2003, pp. 4-5). El bloc del motor del *Flyer* dels germans Wright era d'alumini³⁰ i les pales de l'hèlix del biplà *14 bis* de Dumont varen ser les primeres a ser d'aquest metall (Gil, 2007, pp. 30-31; Goodway i Leyes, 1993, p. 16; Torenbeek i Wittenberg, 2009, p. 186).

Era ja una evidència que es feia plausible en les seves primeres aplicacions, la lleugeresa de l'alumini, però aquest encara amagava altres propietats de gran utilitat; essent la corrosió que pateixen els metalls a causa de la seva oxidació, un dels maldecaps més comuns, és on l'alumini podia seguir oferint certs avantatges.

28 Mori el 1896 a causa d'un greu accident al precipitar-se des de 17 metres d'altura.

29 Després de les seves peripècies i aportacions al món dels dirigibles, Santos, fascinat per les proeses dels germans Wright, s'interessà per l'aviació.

30 Aquests dos mecànics de bicicletes aconseguiren en quatre anys ser els artífexs del primer vol en avió controlat i tripulat a motor de la història, el 17 de desembre de 1903. Per tal d'aconseguir-ho varen necessitar un rail i una catapulta a l'hora d'agafar embranzida per a enlairar-se; aquest fet va provocar, i provoca, força polèmica entre els apassionats del tema.

1.1.3_Els principis de l'anoditzat

Les inquietuds científiques de l'anomenada Revolució Científica també es van interessar per les qualitats que podien aportar els recobriments dels materials.

Fou el 1857 quan Heinrich Buff (1805-1878), químic i físic alemany, va mencionar, per primera vegada, l'oxidació que sofria l'alumini quan era utilitzat com a ànode en un bany electrolític (Runge, 2018, p. 92). Les investigacions dutes a terme fins a la primera dècada del segle XX començaren a dibuixar el procés que sofria l'alumini quan s'utilitzava d'ànode en una cel·la electrolítica; es detectà que es creava, en la superfície de l'alumini, una pel·lícula d'òxid (alúmina) i que aquesta podia tenir qualitats poroses (Morse i Shuddemagen, 1909). Però, no va ser fins a l'arribada del microscopi electrònic, a la dècada dels 50, que es va poder examinar la capa d'òxid d'alúmina que es forma mitjançant aquest procés, i detectar la seva estructura de porus ordenats. Aquest fet va ampliar l'horitzó de possibilitats d'aquest recurs (Santos i Kumeria, 2015, p. 221), i a partir de la segona dècada del segle XX es començaren a succeir les diferents patents³¹.

A les primeres aplicacions de l'òxid anòdic en condensadors i díodes en els circuits elèctrics, s'hi van anar sumant les aplicacions anticorrosives i les relacionades amb el desgast dels components fabricats amb aquest

31 El gran ventall de variants patentades sobre l'anoditzat de l'alumini i la creixent complexitat d'aquestes, ha propiciat que la classificació dels anoditzats se centri més en les propietats que ofereix que no pas en els seus processos d'obtenció (vegeu l'apartat 2.5_*Classificació dels anoditzats*).

metall, com per exemple els rodaments, així com les dedicades a finalitats decoratives (Wernick i Pinner, 1966, pp. 245-246).

L'anoditzat basat en l'àcid oxàlic es patentà per primera vegada al Japó el 1923; ràpidament aquest procés va arribar a Europa, i s'aplicà extensament en l'arquitectura a Alemanya, on se'l va anomenar "Eloxal", acrònim provinent de "Electrolytisch German Oxidiertes Aluminium" (Aluminum Anodizing Companies, s.d., par. 5; Ebnesajjad, 2014, p. 147; Wernick i Pinner, 1966, p. 244).

El mateix any, els investigadors anglesos Guy Dunstan Bengough (1876-1945) i John McArthur Stuart, publicaren una patent sobre el procés amb àcid cròmic aplicat al duralumini (Bengough i Stuart, 1930; Runge, 2018, p.101), fet que va permetre plantejar noves aplicacions en àmbits que des d'un principi posaren al límit les capacitats de l'alumini davant de la corrosió, com és el cas del sector marí. El govern britànic adopta aquest procés, el qual va batejar amb el nom de "procés Bengough-Stuart"³², per als revestiments dels seus hidroavions (Aluminum Anodizing Companies, s.d., par. 3)

La primera patent que feu èmfasi sobre l'aplicació del recobriment d'òxid anòdic per a millorar aspectes relacionats amb l'abració dels components d'alumini, i que tractava la possibilitat d'aplicar color simultàniament a l'anoditzat, o posteriorment, fou la del l'investigador nord-americà Fulton B. Flick (1896-1968), el 1925. Flick també destacà l'afectació del tipus

³² El procés Bengough-Stuart original utilitzava una dissolució d'àcid cròmic al 3%, a una temperatura de 40°C; el càtode utilitzat era de grafit i el voltatge s'anava augmentant gradualment fins a arribar als 50 V (Desch, 1945, pp. 174-175).

d'aliatge en l'acolorat. El procés que utilitzava amoníac, sulfur d'amoní i polisulfur d'amoní com a electròlit, va ser cedit a l'Aluminum Company of America (Alcoa) (Flick, 1925; Runge, 2018, p. 101).

Dos anys més tard, el 1927, l'investigador anglès Charles Hugh Roberts Gower (¿?), patentava el procés d'anoditzat amb àcid sulfúric; procés que, amb múltiples variacions, ha arribat fins als nostres dies cobrint la major part de la producció actual (Brace i Sheasby, 1979, p. 12). En aquesta patent, Gower tractava aspectes detallats sobre el color i els agents colorants en l'anoditzat, així com l'afectació de l'aliatge en el resultat acolorat (Runge, 2018, p. 102). Un any més tard, el mateix Gower i el seu col·lega de professió R. Stafford (¿?), patentaven el procés d'àcid cròmic amb àcid sulfúric (Ebnesajjad, 2014, p. 147).

Tot i la quantitat de patents que sorgiren durant les dècades dels anys 20 i els anys 30, no fou fins a les acaballes de la primera meitat de segle, gràcies al fet que moltes d'elles varen passar a ser de domini públic, que la indústria de l'anoditzat va experimentar una gran expansió (Brace i Sheasby, 1979, p. 12).

1.1.4_ La guerra. La indústria militar

La creixent producció i aplicació industrial de l'alumini es va fer notòria en els períodes de guerra; tots aquests avenços varen trobar cabuda en la Primera Guerra Mundial, concretament, en la indústria militar³³. La lleu-

³³ El 90% de l'alumini produït durant el període de la Primera Guerra Mundial va ser destinat a satisfer les necessitats militars (Ashby, 1999, p. 82).

geresa i resistència d'alguns aliatges convertiren l'alumini en un material estratègic, però tot i l'ampli ventall de possibilitats que aquest oferia, la majoria de la producció fou destinada a la fabricació de munició i explosius (Simcoe, 2014a, p. 33).

Abans de la Primera Guerra Mundial, com hem comentat anteriorment, ja s'havien introduït alguns elements d'alumini als avions però durant el conflicte, les investigacions per a poder aplicar l'alumini al camp de l'aeronàutica i més concretament a l'aeronàutica militar, encara es trobaven en un estat primigeni³⁴. La construcció tradicional, a partir de fusta i tela, va dominar el món de l'aviació durant aquest període (van der Linden, 2019, p. 30).

1.1.5_Període d'entreguerres

El 1918, a les acaballes de la guerra, alguns avions ja comptaven amb ales construïdes, quasi totalment, amb tubs i làmines d'alumini però el fusellatge i el seu recobriment era pràcticament d'acer per tal d'assegurar-ne el blindatge³⁵ (Loftin, 1985, pp. 59-60; Ouissi et al, 2019, p. 2784).

³⁴ Les estructures de fusta que s'estaven emprant en la construcció de les aeronaus i els recobriments tèxtils, encara que proporcionaven molta lleugeresa, no eren les més apropiades per a l'aviació militar ja que la feia molt vulnerable (Ouissi et al, 2019, p. 2784). Si a les peculiaritats dels seus components, l'hi sumem els pocs coneixements que en aquella època es tenien sobre el disseny d'aquests artefactes, tal com ho expressa Loftin (1985): "aircraft design during World War I was more inventive, intuitive, and daring than anything else" (p. 8). Sembla extraordinari la increïble quantitat d'avions que es varen arribar a construir i encara més extraordinari que s'utilitzessin per a tasques militars.

³⁵ Un dels seus precursors fou el dissenyador alemany Hugo Junkers (1859-1935) amb el seu biplà *J-1*; aquest fou construït, el seu prototip, amb estructura i recobriment d'acer però el pes excessiu no li permetia volar a velocitats competitives. En posteriors models, Junker, introduí l'alumini en els seus dissenys (van der Linden, 2019, p. 30).

Un cop acabat el conflicte i sota l'esperança que aquella havia estat la Guerra que posaria fi a totes les guerres, el món de l'aeronàutica no va dur a terme innovacions importants en els Estats Units, limitant-se a adaptar els romanents ja existents a les necessitats que anaven sorgint. En canvi, a Europa, el desenvolupament i la producció van saber adaptar-se a un altre tipus de mercat, el del transport (Loft, 1985, pp. 67-75).

Les carreres i les proeses realitzades entre 1926 i 1939 varen ser un espectacle prou atractiu per a mantenir l'interès en aquesta indústria³⁶, ajudant a superar la Gran Depressió dels anys 30 i a obtenir importants millores de disseny i velocitat, però les estructures i recobriments seguien sent majoritàriament, de fusta, acer i tela (Loftin, 1985, p. 8; Torenbeek i Wittenberg, 2009, p. 37).

Molts avenços militars varen ser redirigits cap al transport de passatgers i al de mercaderies i cap als petits avions privats, però a mesura que s'anava apropant la Segona Guerra Mundial, aquests van començar a ser orientats de nou cap al món militar per abastir la renaixent demanda bèl·lica (Loftin, 1985, pp. 77-80).

Fins feia poc temps, els aluminis d'alta resistència, en contenir coure, es veien afectats per la corrosió, fet que es va poder solucionar quan el 1923, la companyia anglesa Bengough-Stuart inventa el primer procés a partir d'un electròlit cròmic d'anodització de l'alumini, amb la finalitat de protegir

³⁶ El nord-americà Charles A. Lindbergh (1902-1974), realitzà el primer vol en solitari i sense escales de Nova York a París el 1927; s'efectuà el primer vol sobre el Pol Sud (Quan?) i se sobrepassaren amb escreixos les marques de velocitat, entre altres rècords i proeses.

els hidroavions militars de la corrosió³⁷. L'aplicació de l'anoditzat de protecció va donar un gran impuls a la utilització de l'alumini, ja tant en el camp de l'aviació com en altres aplicacions dirigides a espais exteriors (van der Linden, 2019, p. 31). Un cop solucionat el problema de la resistència i de la corrosió i incorporats els avenços de disseny i lleugeresa als motors, precursors com l'industrial nord-americà i dissenyador aeronàutic John K. "Jack" Northrop (1895-1981), començaren a implementar tots aquests recursos al disseny dels seus avions, fins que arriba el *Hawk P-6E* (1930) de la United Aircraft and Transport Corporation, de l'estatunidenc William E. Boeing (1881-1956), construït totalment amb metall (Loftin, 1985, p. 87; van der Linden, 2019, p. 32), i pocs anys més endavant, el 1933, la naixent aviació comercial també utilitzà l'alumini com a material prioritari en les seves creacions (Torenbeek i Wittenberg, 2009, pp. 32-33).

Per una altra banda, l'empenta que les finalitats militars varen donar a la indústria de l'alumini va ser molt ben rebuda pel sector de la construcció, tant per l'arquitectura com per l'enginyeria civil. Aquestes disciplines van aprofitar tots els avenços que fins aquell moment s'havien descobert i també els que s'anaven perfeccionant i modernitzant, com per exemple els sistemes d'extrusionat i els de protecció i decoració que oferia l'anoditzat. Igualment foren indispensables les innovacions en els aliatges i els tractaments tèrmics que igualaven resistència de l'alumini amb la de l'acer (Ashby, 1999, pp. 83-84).

L'alumini com a material constructiu i decoratiu ja s'havia emprat en alguns

³⁷ Aquest procés es va documentar en l'especificació de defensa britànica DEF STAN 03-24 / 3.

edificis, curiosament de caràcter religiós, com en el sostre d'una capella de l'església de St. Edmund³⁸ (1895), en l'interior d'Art Nouveau de la de St. Mary the Virgin³⁹ (1902) a Anglaterra i en l'espectacular recobriment de la cúpula de l'església de San Gioacchino de Roma⁴⁰ (1897) (Stacey, 2015, pp. 22 a 29; Hufnagel, 1992, p. 987). Durant els anys d'entregueres l'aplicació en l'arquitectura es va diversificar, integrant-se mitjançant panells, en la façana d'edificis tan emblemàtics com l'Empire State Building⁴¹ (1931) (Nacheman, 2006, p. 39) o el Rockefeller Center⁴² (Flandro i Thomas-Haney, 2015, p. 13) als Estats Units. A Anglaterra, la University of Cambridge Library (1934) que incorporà els marcs d'alumini de les finestres i el Daily Express Building (1932) que a part dels bastiments anoditzats de les obertures, integrà elements estructurals i arquitectònics d'aquest metall en el seu interior (Stacey, 2015, pp. 39 i 40).

S'estava incubant un nou estil arquitectònic, l'International Style, que de la mà de reconeguts arquitectes com Walter Gropius (1883-1969), Mies van der Rohe (1886-1969) i Lloyd Wright (1867-1959) perduraria fins als anys

³⁸ Els panells es conserven perfectament i encara es veuen els detalls que s'hi van pintar el 1895 (Stacey, 2015, p. 30).

³⁹ En l'interior d'aquesta església es poden trobar, tant elements arquitectònics com escultòrics, donant testimoni que l'art en moltes ocasions, és precursor en l'experimentació amb nous materials (Stacey, 2015, p. 127).

⁴⁰ La cúpula està recoberta, tant en el seu interior com en l'exterior, de làmines d'alumini. És l'element arquitectònic realitzat amb aquest metall més antic que es coneix (Stacey, 2015, p. 119).

⁴¹ En el seu interior es va realitzar un mural d'art déco format per planxes d'or de 23 quirats i d'alumini.

⁴² En l'interior d'aquest emblemàtic edifici es troba el teatre Radio City Music Hall, on el 1932 s'instal·len les escultures d'alumini *Girl and Goose*, realitzada per Robert Laurent, la *Eva*, de Gwen Lux i *Spirit of the Dance* de William Zorach (Rockefeller Center, 1930, The Radio City Music Hall, par. 11; Landmarks Preservation Commission, 1978, pp. 12, 14-15)

60⁴³.

Un altre camp que va saber aprofitar els avenços en la formulació d'aliatges i en la seva protecció va ser la nàutica. A partir dels anys 20, es començà a recuperar l'opció d'incorporar l'alumini en les embarcacions, aplicant-lo als equipaments i als elements decoratius interiors; aquesta possibilitat es contemplava per la reducció en el pes però també per temes relacionats amb la seguretat (substituint els elements de fusta es minimitzaren els riscos d'incendi). És avançada aquesta dècada quan els progressos en els aliatges sense coure i amb un elevat percentatge de magnesi, anomenats “inoxidables” com en els processos d'anoditzat⁴⁴, permeteren lluitar contra la implacable corrosió propiciada pels elements marins i, en conseqüència, crear vaixells íntegrament construïts amb aquest metall (Skillingberg, 2007b, p. 27). El iot de carreres *Diane II*, construït a Anglaterra el 1931, fou el primer vaixell en incorporar els anomenats “aliatges marins” (Carr, 1964, p. 31).

43 El 1932, aquests tres arquitectes varen participar en l'exposició Modern Architecture International Exhibition que es realitzà al Museum of Modern Art de Nova York (MOMA) i que donaria pas l'anomenat International Style (Montes i Alonso, 2018). Aquest estil arquitectònic bevia del que es va anomenar arquitectura industrial, fruit de la Segona Revolució Industrial (1870-1914) (Jevremovic, Vasic i Jordanovic, 2012, p. 83) i va perdurar des dels anys 20 fins als 60. Henry-Russel Hitchcock, un dels dos organitzadors de l'exposició, en el pròleg de l'edició de 1966 del llibre *The International Style*, reafirma que als inicis del 1960 aquest estil va arribar a la seva fi (Hitchcock i Johnson, 1966, p. viii).

44 Els aliatges de forja utilitzats en la construcció d'embarcacions són els de la sèrie 5000 (AlMg) i 6000 (AlMgSi) i els de la 40000 (AlSi) i 50000 (AlMg) per als de fosa (Vagel, s.d., pp. 36 i 48).

Una capa d'alúmina d'un gruix de 20 µm pot protegir l'alumini durant 20 anys (Vagel, s.d., p. 168).

1.1.6_La Segona Guerra Mundial

El començament de la Segona Guerra Mundial (1939) va frenar els avenços dels afers arquitectònics i decoratius relacionats amb l'alumini, centrant tots els esforços en obtenir aliatges d'alta resistència i en els tractaments protectors. La guerra va desplaçar a l'arquitectura, engolint la majoria de la creixent producció d'alumini (Ashby, 1999, p. 84).

Mentre que en la Primera Guerra Mundial la indústria de l'aeronàutica es va centrar en descobrir i experimentar, en la Segona, els esforços es varen concentrar en optimitzar els avenços aplicats durant el període d'entreguerres i extreure'ls-hi el màxim rendiment. Els avions militars que es produïren entre 1935 i 1945 eren en aparença molt similars, però els dels últims anys del conflicte eren molt superiors en prestacions; aquests últims s'impulsaven per potents motors, fruit de complexos estudis d'aerodinàmica i estaven dotats de materials molt resistents i lleugers. En totes aquestes millores, l'alumini i va tenir un paper protagonista (Loftin, 1985, pp. 103-136).

Els aliatges foren la clau per adaptar aquest metall lleuger a les particulars i exigents necessitats del moment. L'aliatge capaç d'oferir les qualitats desitjades per la indústria militar era el ja mencionat duralumini; aquest oferia resistència sense sacrificar la tan buscada i apreciada lleugeresa. Sorgiren múltiples variacions en la composició d'aquest aliatge, però encara no s'havien establert els pertinents sistemes de designació, fet que va provocar que cada una d'elles fos batejada segons els criteris de cada fabricant o nació. En conseqüència, aliatges iguals o molt similars, eren

associats a diferents noms⁴⁵ (Ouissi et al, 2019, pp. 2788-2792).

Un exemple n'és l'*hiduminium*, en català hidumini, que fou un aliatge especial ideat per a suportar altes temperatures⁴⁶. Fou formulat i utilitzat en el període d'entreguerres. La diferència més significativa en la composició de la sèrie hidumini R.R., en relació al duraluminium, era el seu alt percentatge de níquel i ferro⁴⁷. Aquesta sèrie s'utilitzà habitualment per a fabricar components de motors, els quals s'exposaven constantment a un alt desgast i a temperatures elevades (pistons, càrters...); alguns aliatges d'aquesta sèrie, i de la sèrie hidumini (sense les inicials R.R.), també oferien un alt rendiment en elements estructurals i de recobriments (High Duty Alloys Ltd., s.f.; Saenz, 1952, pp. 13-16). El desenvolupament i les aplicacions en el camp de l'aeronàutica d'aquests aliatges d'alta resistència foren essencials per a la indústria militar de la Segona Guerra Mundial. Segons Van der Linden (2019) "by the end of World War II, the United States alone had produced over 300,000 aircraft, virtually all of them metal" (p. 33).

Com anècdota i avançant-nos als esdeveniments, certes parts del *Con-*

45 Alguns exemples d'aliatges que sorgiren a partir de les variacions de la composició inicial del duralumini foren: l'Aeral, l'Aldal, el Ceralumin, l'Heddur, l'Igedur, el Lautal, el Maganlite i el Meral, entre d'altres (Camm, 1944).

46 També conegut com aliatge R.R. per haver sigut ideat per l'empresa Rolls-Royce. El nom d'hiduminium és l'apòcope de l'empresa que el va començar a fabricar i després el va desenvolupar, la High Duty Alloys Ltd. (nom complet: High Duty Aluminium Alloys).

47 El percentatge de níquel oscil·lava entre un 0,5 i un 2% i el del ferro entre un 0,8 i un 1,5%. L'aliatge especial Hiduminium R.R. 77 tenia entre un 4 i un 6% de zinc i es caracteritzava per ser més resistent que l'acer d'alta resistència (High Duty Alloys Ltd., s.d.).

corde (1969-2003)⁴⁸ foren fabricades amb variants d'aquesta família d'aliatges desenvolupades en la Segona Guerra Mundial; entre aquestes es trobaven els quatre motors dissenyats per l'empresa Rolls-Royce, que foren desenvolupats per a impulsar el bombarder *Avro Vulcan*⁴⁹ i l'estructura principal del seu fusellatge que fou subministrada per la High Duty Alloys Ltd⁵⁰.

En l'article "La ciencia y el 'Concorde'", publicat el 1969 pel periodista britànic especialitzat en cobrir notícies sobre aviació James Hay-Stevens (1913-1973), explica la importància d'aquest aliatge en la viabilitat de la construcció d'aquest avió supersònic:

Las aleaciones ligeras poseen relaciones entre resistencia y densidad más favorables, y un cuidadoso análisis condujo al Hiduminium RR. 58 (AU2GN en Francia), el cual retiene satisfactoriamente sus propiedades mecánicas a la temperatura de funcionamiento del "Concorde".

La High Duty Alloys desarrolló originalmente la aleación RR.58 para émbolos de motores de aviación Rolls-Royce, debiendo retener sus propiedades mecánicas en caliente, así como buenas características resistentes a la fatiga. (p.347)

48 Avió supersònic de transport de passatgers fabricat per l'empresa britànica British Aircraft Corporation i la francesa Aérospatiale. El seu primer vol fou el 1969, però no va entrar en servei fins al 1979.

49 La variant del motor utilitzat en el Concorde s'anomenà Rolls-Royce/Snecma Olympus 593.

50 L'aliatge utilitzat en aquest cas fou el RR58 (2,5% de coure, 1,5% de magnesi, 1,2% de ferro, 1% de níquel, 0,2% de silici i 0,1% de titani).

1.1.7_“The aluminium industry in search of a market”. La postguerra

El final de la guerra va deixar òrfena la indústria de l'alumini; la fabricació d'avions i d'altres necessitats militars va cessar⁵¹.

Una de les indústries que podria haver agafat el relleu era l'automobilística però aquesta, ja des del període d'entreguerres, es va decantar majoritàriament, per la utilització de l'acer en les seves creacions. No serà fins a finals de la dècada dels 60 quan les normatives de seguretat i les referents a la contaminació provocaran canvis en el disseny dels vehicles que “forçaren” la utilització de l'alumini (Genta *et al*, 2014, pp. 9, 144)⁵².

Així doncs, on es va donar un pas endavant en la implementació de l'alumini va ser en el camp de la construcció. Aquest camp es va reinventar a partir del reciclatge, tant de les infraestructures ja existents i en desús (fàbriques), com del material que proporcionava la “ferralla” dels avions de combat (Ashby, 1999, p. 84).

La manera d'entendre l'alumini estava canviant. L'abaratiment que suposava en el transport i en el seu manteniment i l'agilitat en el muntatge, sumat a la visió renovada de concebre l'arquitectura (creant espais interiors molt lluminosos amb l'ajuda del vidre i alleugerint les estructures verticals com les dels revestiments externs o les horitzontals, concebent sostres

51 Aquest període, en el context industrial, fou conegut per la frase “the aluminium industry in search of a market” (en català: la indústria de l'alumini a la recerca d'un mercat).

52 Cal esmentar que la crisi del petroli del 1973 també va ajudar a accelerar aquests canvis.

que permetien que les columnes fossin quasi inexistent) varen permetre, tot i que el seu preu era molt més elevat que el de l'acer que seguís sent un material competitiu (Peter, 1956; Ashby, 1999, p. 86). Com John Peter (1956) proclamà “it is the efficiency with which the material is used that is the measure of its cost” (p. 11).

En aquesta nova etapa, l'anomenat “Metall Modern” fou destinat a cobrir totes les tipologies d'edificacions: des d'escoles a bancs, des d'edificis d'oficines a cases particulars, des de fàbriques a pàrquings i des d'apartaments a edificis d'exhibició, entre d'altres (Ashby, 1999, p. 80); la seva duresa i durabilitat, juntament amb l'ampli ventall de formats, formes i acabats superficials, entre ells el color, el dotaven de versatilitat i possibilitats creatives (Peter, 1956; Kaiser Aluminum, 1960, p.2).

Alguns exemples de construccions que incorporaven alumini, realitzades en aquest període, foren les denominades Aluminium Bungalow (1946-1948), popularment anomenades “prefab”, cases prefabricades inicialment dirigides a cobrir l'escassetat d'habitatge al Regne Unit després de la Segona Guerra Mundial⁵³; i als Estats Units, l'*Equitable Savings & Loan Association Offices* (1948) d'Oregon i el *Johnson Wax Research Tower* (1950) de Wisconsin (Amgueddfa Cymru – National Museum Wales, 2007; Peter, 1956, pp. 24-28; Stacey, 2015, pp. 44-45).

En altres àmbits, l'alumini també es mostrava com a una opció. Els pri-

53 L'AIROH (Aircraft Industries Research Organisation on Housing) en fabricà unes 156.000 unitats. Una d'aquestes cases va ser recuperada i muntada el 1998 en el *Museum of Welsh Life* de St. Fagans (Gales) (Stacey, 2015; pp. 44-45; Amgueddfa Cymru – National Museum Wales, 2007).

mers Jocs Olímpics després del parèntesi de la Segona Guerra Mundial se celebraren a Londres el 1948; una de les tres torxes, dissenyades per l'arquitecte britànic Ralph Lavers (1907-1969), va ser realitzada amb hidròxid d'alumini (The Organising Committee for the XIV Olimpiad, 1951, pp. 209-210). Seixanta-vuit anys més tard, les torxes dels Jocs Olímpics de Rio de Janeiro del 2016, s'elaboraren amb alumini reciclat i resina (Kromschroeder, 2016, p. 1).

L'arribada de la Guerra de Corea (1950-1953), com totes les altres guerres abans mencionades, va crear un punt d'inflexió en la disponibilitat d'alumini i d'altres metalls per a ús civil als Estats Units, dedicant-ne un alt percentatge a les necessitats militars⁵⁴ (Crane et al, 2019, pp. 10, 17).

Fins al final de la Segona Guerra Mundial, l'empresa Alcoa havia controlat el monopoli de la fabricació d'alumini als Estats Units, condició que ostentava d'ençà que fou fundada el 1888 sota el nom de The Pittsburgh Reduction Company per Charles Martin Hall. Un cop acabada la guerra, les fàbriques que havien estat construïdes per l'Estat i administrades per Alcoa foren venudes a la Reynolds Metals Co. i a la Kaiser Aluminum and Chemical Co. Des dels seus inicis fins a l'actualitat, Alcoa ha estat present en tots els avenços industrials que s'han produït relacionats amb l'alumini, incloent-hi els armamentístics (Simcoe, 2014b, pp. 31, 125; The Aluminum Company of America, 2006).

Tal com descriu l'International Aluminium Institute (IAI):

⁵⁴ La Guerra de Corea va suposar que les fàbriques d'avions reprenguessin la seva activitat.

The international aluminium industry was dominated in the early 1970s by the “Six Majors” – Alcoa, Alcan, Reynolds, Kaiser, Pechiney and Alusuisse – with a combined share then exceeding 60% for bauxite, approaching 80% for alumina and hovering around 73% for primary aluminium. (Nappi, 2013, p. 6)

Segons Nappi (2013), controlaven tots els processos de producció i, en alguns casos, els de transformació i afegeix “In addition to the Six Majors of the early 1970s, a long list of private or government-influenced producers has joined the fray over the last four decades. Among the most significant are UC Rusal, Chinalco/Chalco, BHP Billiton, Rio Tinto Alcan...” (p. 12) seguit d'un llarg etcètera. Aquest fet va ser propiciat per l'obertura del mercat de l'alumini; fins aquells moments, el preu de l'alumini era fix i controlat per les grans empreses del sector. Fou a partir de l'entrada a la London Metal Exchange (LME) que el seu preu comença a fluctuar i a malmetre la quota de mercat de les empreses dominants fins al moment. Per tant, en el cas de l'alumini, durant els seus 100 primers anys d'“existència”, des del punt de vista mercantil, era el volum i no el preu el que marcava la seva comercialització; per tant, “gaudia” d'un tracte diferent en comparació amb la resta de metalls⁵⁵ (Bertilorenzi, 2015, pp. 1-2).

⁵⁵ S'entén que l'alumini no era el que gaudia d'aquest tracte, sinó que eren les empreses que monopolitzaven el mercat d'aquest metall les que en treien profit, juntament amb els agents polítics i econòmics. La paraula que utilitza Marco Bertilorenzi (2015) per a definir aquesta estructura és la de “càrtels”, terme que, segons la Gran enciclopèdia catalana (s.d.), es defineix com:

Acord limitat entre diverses empreses, les quals, tot i conservar llur independència tècnica, econòmica i financera (aquesta és la principal diferència entre el càrtel i el trust), decideixen de pactar a fi d'evitar o de disminuir la competència mútua. De fet, el seu objecte principal és d'aconseguir una posició monopolística en el mercat; si hom no assoleix aquesta finalitat l'acord sol restar sense efecte ràpidament.

1.1.8_La conquesta de l'espai

La indústria de l'aeronàutica, tot i no haver tingut progressos científics excessivament significatius en les últimes dècades en el camp de l'alumini⁵⁶, va seguir treballant en els aspectes tecnològics. El principal objectiu es va centrar en la millora del sistema de propulsió i en ampliar l'altitud de vol; els avenços en els motors varen portar als avions a superar amb escreixos la velocitat del so i a arribar a grans altituds estratosfèriques⁵⁷. Aquestes innovacions propiciaren l'inici d'una altra carrera, la de l'espai (Torenbeek i Wittenberg, 2009, p.40).

Immersos en el periple de la Guerra Freda, els Estats Units i l'antiga URSS competien aferrissadament per la conquesta de l'espai; en aquest context, el militar Yuri Gagarin (1934-1968) fou el primer home enviat, en un viatge d'anada i tornada, fora de l'atmosfera terrestre⁵⁸ (León, 2013, pp. 13-16). En aquest context es realitzaren molts avenços per part dels dos països.

Amb la diversitat d'empreses dedicades a la formulació d'aliatges d'alumini, s'establí una nomenclatura per tal d'unificar els aliatges en sèries segons els seus elements (Simcoe, 2014b, p.31) (vegeu l'apartat [1.3.4-Classificació dels aliatges](#)).

En aquests anys, el reciclatge de l'alumini, concepte essencial perquè la seva producció sigui sostenible, començava a despuntar, essent el 1972, el 21% del consum total d'alumini en el món occidental (Nappi, 2013, p. 7).

⁵⁶ Fins al 1970 es va seguir emprant l'aliatge 2034-T3, el mateix que ja s'utilitzava en els anys 30 (Vlot, 2004, p. 53). En l'apartat [1.3.4-Classificació dels aliatges](#) s'expliquen algunes de les designacions que s'utilitzen per a classificar l'alumini i els seus aliatges.

⁵⁷ Aquests vols rebien el nom de supersònics, arribant a la vertiginosa velocitat de 3.500 km/h i 26.000 m d'altitud el 1971 (Torenbeek i Wittenberg, 2009, p. 40). L'estratosfera terrestre, en latituds mitjanes, comença als 10 km d'altitud i acaba a una altura aproximada de 50 km.

⁵⁸ La velocitat a la qual es va desplaçar la nau durant 108 minuts fou de 27.400 km/h, velocitat mínima necessària per a entrar en òrbita (velocitat còsmica).

Després de múltiples incursions en l'espai, la sonda *Pioneer 10* (1972) i la *Pioneer 11* (1973) varen ser llançades a l'espai per la National Aeronautics and Space Administration (NASA)⁵⁹. Formaven i formen part d'aquest programa d'exploració planetària ja que la Pioneer 11 tenia com a objectiu arribar a Saturn i, un cop assolit aquest, ja fora del control de la NASA, es dirigia a la constel·lació de l'Escut, recorrent 359 milions de kilòmetres l'any⁶⁰. Període que fa a la Pioneer 10, després d'haver complert el seu objectiu d'arribar a Júpiter, va sortir projectada pel camp gravitatori d'aquest planeta i dintre de 2 milions d'anys s'espera que s'aproximi a *Aldebarán*, l'estrella més brillant de la constel·lació de Taure (Dyal, 1990; Anderson et al, 2005, pp. 5-6). Amb la intenció de contactar amb vida extraterrestre intel·ligent, es varen fixar a les corresponents estructures unes plaques idèntiques d'alumini de 6 x 9 polsades (15,24 x 22,86 cm), les quals contenen informació del nostre planeta, dels seus habitants i del sistema solar⁶¹. Amb la finalitat que l'anomenada placa perduri pels segles dels segles, s'utilitzà l'aliatge 6061, emprat en la fabricació de vaixells que va ser anoditzat de color daurat (Sagan, 1973, pp. 21-23).

⁵⁹ La National Advisory Committee on Aeronautics (NACA), fundada pels Estats Units durant la Primera Guerra Mundial, fou l'agència encarregada de tractar i estudiar els temes científics i tecnològics relacionats amb l'aeronàutica, protagonitzant avenços significatius en el desenvolupament de l'alumini en aquest camp. Un cop començada la carrera espacial, la NACA es convertiria en la National Aeronautics and Space Administration (NASA), agència al front del programa espacial civil així com de la investigació aeronàutica i aeroespacial (Krige i Russo, 2000, p. 8).

⁶⁰ Es calcula que dintre de 4 milions d'anys passarà a prop de l'estrella Lambda Aquilae.

⁶¹ La part del missatge que va portar més controvèrsia van ser els dibuixos creats per l'artista Linda Salzman Sagan, dona del precursor de la idea d'enviar el missatge, que volien figurar el cos humà; les crítiques foren diverses: des de la possible raça a la qual pertanyien, fet que podia ser discriminatori per a la resta de races, a la representació (o no representació) dels genitals masculins i femenins (Sagan, 1973, pp. 24-32).

Des del primer satèl·lit enviat a l'espai, el *Sputnik 1*, la indústria aeroespacial ha incorporat, d'una forma o altra, els aliatges d'alumini en totes les seves construccions i equipaments, aprofitant la seva lleugeresa (estalvi de pes) i la seva resistència a certs aspectes ambientals de l'entorn espacial⁶². Alguns dels avenços s'han orientat a desenvolupar aliatges especials d'alumini, entre ells el d'alumini amb liti, concretament el 2195, el qual estarà present en la nau espacial *Orion* del “programa Artemis” (2024) de la NASA⁶³ (McGill et al, 2010; NASA, 2012; NASA, s.d.)

1.1.9_Metall amb passat, present i futur

L'alumini ha sigut, és i serà material d'inspiració en la indústria, però també en àmbits com la literatura. I a la vegada la literatura o l'art en general, pot ser inspirador per a la indústria, com és el cas de Julio Verne que hem explicat anteriorment, qui augurava aspectes del futur de l'alumini com es feu evident amb l'Apolo 11 (1969), nau espacial que estava protegida amb

62 Paral·lelament, la lleugeresa de l'alumini també ha estat beneficiosa en altres indústries. A partir de la dècada dels 70, els cotxes de passatgers feren augmentar la massa d'aquest sistema de transport, fet que es va reflectir en l'augment del consum de combustible i en conseqüència, en més contaminació. Des de llavors, la reducció del pes dels components dels cotxes ha estat un repte que l'alumini ha assumit amb molts bons resultats. Segons la European Aluminium Association (2007) “100kg mass reduction achieved on a car saves 9 grams of CO2 per km at the exhaust pipe” i afegeix que “As a long term vision, an “Alu-maximised” small family car could be 30-35% lighter after primary and maximum secondary weight savings”. (p. 15). Moltes de les solucions que es podien aplicar als automòbils ja havien estat implementades als vehicles de carreres o de gamma alta, el repte estava en adaptar-les als models més econòmics (Tisza i Czinege, 2018).

63 El 1994, la NASA va començar el programa de dipòsits de combustibles superlleugers. L'aliatge de ALi escollit complia tots els requisits necessaris, però semblava impossible que permetes realitzar soldadures de reparació en les condicions d'un ambient criogènic (condicions en què es podia haver d'intervenir durant el vol espacial). Un cop solucionat aquest problema tècnic, des del 1998 aquest aliatge s'ha apoderat de gran part dels elements constructius dels programes d'aquesta agència (McGill et al, 2010).

alumini tal com va “pronosticar” l'escriptor francès⁶⁴. En el cine, en la IV part de la saga Star Trek, *Misión: salvar la Tierra* (1986), apareix l'alumini transparent (oxinitrur d'alumini), material que en aquells moments semblava de ciència-ficció però que avui en dia és una realitat. Així doncs, es crea una camí d'anada i tornada: l'alumini és capaç d'inspirar a l'art, però també de trobar en ell una font d'inspiració.

El 1895, Richards (1896) en el prefaci d'un dels primers llibres sobre l'alumini, resumia la increïble evolució que estava sofrint aquest metall; en deu anys, havia passat de ser desconegut a quotidià (p. vii). En aquell curt interval de temps ja es considerava que aquest element podia arribar a introduir-se en el nostre dia a dia; ara, 125 anys després, és evident que l'alumini és molt més que un material quotidià en la nostra societat. Es pot afirmar que és imprescindible. Productes com el paper d'alumini, les llanes de begudes, les finestres i portes, les bicicletes i un gran percentatge dels components dels cotxes que conduïm, entre d'altres, són la clara evidència de què l'alumini està, en tot moment, present en les nostres vides.

Aquest fet, en part, ha sigut possible gràcies als alts nivells d'obtenció d'alumini, i a la seva consegüent devaluació. Segons les dades de l'International Aluminium Institute (IAI), entre el període del gener i el desembre del 1973 la quantitat mundial d'alumini primari, extret a partir de l'alúmina,

64 L'Apolo 11 fou la primera missió espacial que va practicar un allunatge amb èxit. Aquest primer contacte físic amb la lluna es va produir el 20 de juliol del 1969 i fou protagonitzat per Neil Armstrong i Edwin Eugene Aldrin (Pérez, 2013, p. 9).

L'alumini s'utilitzà en les parts estructurals del mòdul lunar (LN) Eagle de l'Apolo 11, en la coberta i en l'aïllament tèrmic, però també en els acumuladors d'aigua i de refrigerant, entre d'altres; en els vestits i en els envasos del menjar de la tripulació de la missió també hi era present (Grumman Aircraft Engineering Corporation, 1968).

fou d'uns 12 milions de tones mètriques (tm) en el 2019, fou d'aproximadament 63,5 milions de tm⁶⁵. Mentre la producció no deixa d'augmentar, el seu valor monetari sofreix fortes fluctuacions, arribant el mes de maig del 2006 a 2,24 euros el kg i baixant a quasi 1 euro a principis del 1999 i del 2009; en el mes de maig del 2020, el seu valor era d'1,35 euros el kg; i a les acaballes d'aquesta tesi doctoral, el setembre de 2021, el seu preu estava en 2,41 € el kg (IndexMundi, s.d.)⁶⁶.

Aquestes dades contrasten encara més amb les primeres estadístiques referents a la producció d'alumini a França entre el període de 1854-56 quan Saint-Claire va obtenir la seva màxima producció amb 25 kg o amb el total de la producció mundial de l'any 1892, que s'estima en 1.175.500 kg (Richards, 1896, pp. 36-37).

És evident que l'alumini ha tingut una curta però intensa història i que aquesta no s'acaba aquí, ni avui. La seva creixent producció i encara més important, l'alt creixement del seu reciclatge que suposa beneficis de caràcter sostenible per a tot mitjà de transport (Skillinberg i Green, 2007,

65 Fins al 1998 el IAI no va tenir dades de l'alumini obtingut per la Xina, sent en aquest any d'uns 2,6 milions de tm, fet que contrasta amb el registre del 2019, el qual arribava als 36 milions, més de la meitat de la producció mundial. Els països que conformen les sigles BRIC (Brasil, Rússia, Índia i Xina) estan tenint un gran impacte en la indústria mundial de l'alumini (Nappi, 2013, p. 18).

66 IndexMundi recopila dades i estadístiques de múltiples fonts com la CIA Factbook, el Banc Mundial o les Nacions Unides. Els preus mostrats són el de l'alumini pur en un mínim d'un 99,5%.

La situació política a Guinea-Conakry, esdevinguda per un cop d'estat militar, ha provocat inestabilitat en l'abastiment de bauxita, ja que aquest país és un important proveïdor a nivell global. Aquest fet, sumat a la crisi energètica estacional de la Xina que actualment és el primer productor mundial d'alumini i les seves dificultats per a controlar les seves emissions de CO₂, han propiciat l'augment del preu de la tona d'alumini (Bloomberg, 6 de setembre de 2021, par. 1-2)

p. 5) i per a molta de la tecnologia relacionada amb les energies renovables⁶⁷, li obre moltes portes a múltiples camps d'aplicació

Les investigacions incessants en relació amb l'alumini estan demostrant que, a part de les increïbles qualitats i aplicacions que ja coneixem, el seu gran potencial sembla estar sempre en expansió. Un d'aquests camps de recerca, on una de les qualitats de l'alumini, l'oxidació anòdica, destaca de forma brillant, és el de la nanotecnologia⁶⁸. Fins fa poques dècades, les aplicacions de l'anoditzat de l'alumini centraven el seu potencial en l'autoprotecció contra la corrosió del mateix metall i en aspectes de duresa i decoratius, dotant-lo de color però, la capa porosa que es crea en la superfície de l'alumini a partir d'aquest procés sota principis similars als de l'acumulació de partícules colorants, pot emmagatzemar altres partícules i també energies (Lee, 2010, p. 58). Es coneixen investigacions que desenvolupen les seves propietats nanoporoses per a aportar qualitats lubricants a la superfície de l'alumini⁶⁹ (Kaur, Sharma i Kushwaha, 2017);

67 Segons dades incloses en un estudi de l'Institute for European Studies (2019) "the World Bank in 2017 projected that 300 % more metals will be demanded by the world's wind turbines by 2050, 200 % more metals for solar panels, and 1000% more metals for batteries" (p. 12).

68 Aquest terme va ser encunyat el 1974 per Norio Toniguchi (1912-99), professor de la *Tokyo University of Science* (Wennersten, Fidler i Spitsyna, 2008, p. 944).

Segons la Royal Society (2004) la nanociència es defineix " as the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale"; i la nanotecnologia " as the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at the nanometre scale" (p.vii). Segons aquesta mateixa societat científica, es considera nanoescala a les dimensions que es troben entre 100 i 0,2 nm, ja que dins d'aquest interval les propietats dels materials difereixen molt d'escala superiors (The Royal Society, 2004, p. vii).

69 La finalitat és, a partir d'estudis tribològics (ciència que estudia la fricció, el desgast i la lubricació que té lloc en el contacte de diferents superfícies sòlides en moviment),

altres avenços han estat dirigits a la captació de l'energia solar⁷⁰, a la filtració d'aigües contaminades, en aplicacions biomèdiques (Hassanpour et al, 2018). En definitiva, tot un ventall de possibilitats en les quals l'alumini hi és present.

Un projecte que creiem si més no curiós anomenar per ser d'estricta actualitat en els moments que aquesta tesi es desenvolupa⁷¹, és l'anomenat Uman Prtotek⁷²; aquest aprofita la qualitat absorbent que proporciona la porositat de l'anoditzat per a impregnar-lo amb un agent biocida⁷³ i d'aquesta manera, proporcionar-li a l'alumini la capacitat d'autodesinfectar-se, evitant la possible contaminació creuada. Segons els resultats obtinguts en els experiments realitzats fins a l'actualitat, aquesta iniciativa està demostrant tenir excel·lents resultats (Light Metal Age, 2020, pp. 16-17).

Sens dubte, l'alumini està preparat per a la revolució industrial del s. XXI

incorporar algun agent surfactant que influencii positivament en el desenvolupament d'una determinada operació.

70 “Special optic properties of anodic layer of aluminium and some aluminium alloys make aluminium a useful material for solar absorption.... Today, approximately 35% of the solar absorbers are made of aluminium” (Farzaneh, Maysam, Ahmad, Z. i Ahmad, I., 2013, p. 331).

Segons estudis sobre els absorbents solars selectius (Pavlovic i Ignatiev, 1987), en els porus obtinguts mitjançant l'anoditzat de l'alumini, s'hi poden introduir partícules metàl·liques com el níquel, mitjançant el procés de coloració electrolítica, propiciant un augment de l'absorció solar.

71 En el 2020 la pandèmia de la Covid-19 provoca un estat d'alarma sanitària a escala mundial.

72 Aquest projecte ha estat desenvolupat per l'empresa A3 Surfaces que té la seva seu a Quebec (Canadà).

73 En aquest cas, una barreja entre amoni i plata.

i se li augura un futur molt prometedor. És per tant raonable afirmar que l'alumini ha sigut, és i serà, font d'investigació i creativitat.

1.2_L'escultura en alumini

No és d'estranyar que en els inicis de la producció d'alumini apareguessin creacions escultòriques amb aquest material. L'art sempre ha estat un camp fèrtil per a realitzar provatures amb els nous recursos. Però, malgrat aquests primers intents, resulta sorprenent la presència minoritària de l'escultura fosa en alumini durant gran part del s. XX.

Una mirada ràpida en el procés seguit per l'art del segle passat ens permet comprovar la seva excepcionalitat. De fet, podem realitzar un recorregut àgil i visual per les publicacions especialitzades sobre l'escultura del s. XX sense trobar pràcticament, referències gràfiques i textuals que al·ludeixin a l'alumini fos; altra cosa pot passar si ens plantegem la cerca sobre alumini i fins i tot alumini acolorat. Aquestes dues darreres tenen una mica més de possibilitats de ser reflectides per les fonts documentals, però si conjuguem fosa, alumini i coloració, el resultat és decebedor¹.

¹ Segons les següents publicacions de referència i en relació amb un primer sondeig realitzat a l'inici d'aquest estudi:

- En la publicació d'Herbert Read (1966), "La Escultura Moderna", que recull un ventall representatiu de l'escultura de la primera meitat del s. XX, sols podem destacar l'obra de caràcter constructiu resolta amb alumini pintat de Paolozzi (pp 272-273).

- En "Pasajes de la escultura moderna", Rosalind E. Krauss (2002) refereix el *Relleu de Cantonada*, de 1915, de Vladimir Tatlin, en la que participa la planxa d'alumini; una única pesa fosa en alumini de David Smith, *Head as still life II*, del 1942 i una obra de Donald Judd, *Sense títol*, del 1965, amb ferro galvanitzat i alumini pintat (pp. 63, 167, 241).

- En el catàleg elaborat per a l'exposició realitzada, el 1986, al Centre Nacional d'Art i Cultura Georges Pompidou de París per Margit Rowell, que porta per nom "Qu'est-ce que la sculpture moderne?", apareix una obra de Man Ray, *Abat-jour*, del 1921, resolta amb planxa d'alumini pintat; la reconstrucció de 1979 del *Relleu de Cantonada* de Tatlin, esmentada anteriorment, que aquí rep el nom de *Contre-relief d'angle*, realitzada amb ferro, zinc i

Els motius que fan de l'alumini un metall competitiu per a la fosa es basen en el fet que el seu preu, actualment, és més baix que el del bronze; és un metall lleuger, per tant, més fàcil de transportar, manipular i fondre, aspectes que també influeixen en el cost de l'obra, i posseeix una alta resistència a la corrosió que pot ser augmentada mitjançant processos d'anoditzat, a la vegada que aquests mateixos processos i d'altres, permeten aplicar-li color.

Per altra banda, l'alumini presenta altres característiques que poden considerar-se desavantatjoses: és un metall tou², fet que pot donar peu a dificultats en els tractaments mecànics; es veu limitat en l'obtenció de colors

alumini laminat; una obra de John Storrs, *Forms in Space*, del 1924, elaborada amb diferents materials, entre ells alumini laminat i una obra de Donald Judd, *Untitled*, del 1965, fabricada amb plaques d'alumini i vidre armat (pp. 58, 68, 87, 132).

- I en el llibre "Escultura en el siglo XX", de Hans Joachim Albrecht (1981), centrat en la integració de l'espai en l'escultura d'aquest segle, no refereix cap escultura fosa en alumini, ni tampoc amb alumini laminat o extrusionat.

2 Alfred Lippincott, soci des del 1980 de l'estudi de producció d'obres d'art Lippincott, empresa de referència en la realització d'obres d'art amb alumini, tot i que es refereix a encàrrecs realitzats als Estats Units, comenta el següent sobre les escultures exteriors en alumini:

Present-day American public art programs—which currently number in the hundreds—aim to commission works of art that are easily maintainable. Because of this, painted and unpainted aluminum artworks are ubiquitous in these collections. Yet the maintainability of such works is not always as simple as it appears to those who select aluminum primarily for its corrosion resistance.

Public outdoor aluminum sculptures are highly susceptible to scratching and denting, or nicking by gardening equipment. Cast aluminum works in tropical and marine climates are also subject to corrosion and to deformation from strong wind loads. The treatment of these types of damage can be straightforward, but because of aluminum's high malleability often it is impossible to fully erase the visual imprint of these events. Conservators of public outdoor aluminum sculptures frequently are tasked with educating stakeholders as well as artists about the potential risks of working with aluminum, even while it is touted as the most corrosion-resistant and outdoor-friendly material. (Lowinger, 2019, p. 115)

a partir de l'acció d'agents químics, adquirint bàsicament tonalitats grises, tot el contrari de les possibilitats que ofereixen les pàtines en el bronze, i planteja un cert nivell de conflicte entre els artistes escultors a causa de l'absència d'antecedents en el procés de fosa tradicional i, probablement i segons els casos, la manca de fonderies especialitzades en la fosa artística amb alumini, sumada a la novetat històrica del metall i la seva vinculació als processos industrials.

Observant els avantatges i els inconvenients d'aquest material no deixem de plantejar-nos les causes concretes de la utilització residual de l'alumini fos en l'escultura que sens dubte pot donar peu a una altra tesi.

L'alumini, sobretot el relacionat amb el denominat de forja i els productes elaborats que se n'obté (vegeu l'apartat 1.3.3_ *L'alumini i els seus aliatges*), s'ha sabut fer un forat en l'arquitectura i la decoració d'ençà que fou possible emprar-lo amb aquestes finalitats, però en l'escultura i més concretament en l'escultura fosa, no ha tingut una rellevància notòria, almenys durant bona part del s. XX, a excepció de la producció de contats artistes. En canvi, altres materials amb molta més tradició com la pedra, la fusta, el ferro, el fang o el bronze, sí que han sigut una opció constant i latent en la producció escultòrica.

En aquest apartat farem un sondeig, un recorregut que ens permeti obrir el panorama de l'ús de la fosa d'alumini en l'escultura i reflectir la intervenció del color afegit en la producció que s'hi relaciona.

La Dra. Cirlot (1993) comenta que "ante una panorámica artística tan amplia puede ser fácil incurrir en un cierto subjetivismo en el momento de

establecer criterios clarificadores y sobre todo, en el proceso de selección de los artistas que puedan considerarse como más representativos” (p. 8).

Sembla doncs que un cert grau de subjectivitat va implícit en un recorregut com el que exposem a continuació, malgrat tot, la mateixa autora considera que és perfectament acceptable “citar a unos pocos artistas, de una época determinada -los más representativos- para comprender el significado de las transformaciones que hayan podido operarse en ella” (p. 8). En conseqüència entenem que davant d'aquesta diversitat, la selecció orientada d'un grup d'artistes representatius d'aquestes segones avantguardes pot aportar claus entenedores sobre l'aplicació de l'alumini en l'escultura del període esmentat. Aquesta ha estat doncs l'estratègia adoptada, triar artistes representatius d'aquests moments que hagin mantingut un contacte escultòric amb l'alumini, especialment si aquest ha estat fos i acolorat.

Però abans d'iniciar el recorregut volem referir el plantejament de Margit Rowell (1986a) sobre la doble polaritat de l'activitat artística de bona part del s. XX:

Quand le sculpteur moderne a tourné le dos à toutes les pratiques conventionnelles, à leur iconographie, leurs techniques et leurs matériaux, il lui a fallu trouver un autre cadre de références pour créer des formes signifiantes. Finalement, il semble avoir eu le choix entre deux stratégies qui lui permettaient de gommer ou d'oublier la tradition historique et, par là, de récuser le mécanisme historique de la progression par évolution ou par accumulation. La première consistait à se placer dans un système de références transversal,

ou transculturel, axé exclusivement sur le présent immédiat ou sur un avenir imaginaire. La deuxième solution était de se dégager complètement du mouvement linéaire de l'histoire par des renvois aux formes intemporelles des cultures populaires, primitives et archaïques ou au substrat mythique de certaines philosophies de la nature, de manière à inscrire son activité créatrice dans un schéma temporel circulaire. (p. 12)

Aquesta dicotomia es reflecteix en l'escultura del segle passat, almenys durant un cert període de temps. El conflicte també es trasllueix amb el tema tractat i s'evidencia ignorant o minimitzant l'aplicació de l'alumini fos.

Possiblement, la complexitat argumental d'aquesta absència la generen dues percepcions oposades sobre les foses amb alumini; per un costat, la qüestionada aplicació d'un sistema tradicional com és el de la fosa per un sector de les avantguardes i, per l'altre, l'acceptació de l'ús d'un material nou, industrial, de valor relatiu, adoptat en un context com el del disseny i el de l'arquitectura. Per tant “fosa” i “alumini”, si més no en principi, han estat dos conceptes en contrast; la fosa pel seu caràcter formalista tradicional i l'alumini pel seu vessant innovador, industrial i estructural.

1.2.1 _Escultura amb alumini, de mitjans del s. XIX a mitjans del s. XX

1.2.1.1 _Període de transició entre els segles XIX i XX. Les primeres aplicacions de l'alumini fos

El segle XIX va suposar transformacions econòmiques i polítiques fonamentals. El procés d'industrialització va modificar tota la societat, produint-se grans migracions en el territori, del camp a les ciutats i també intercontinentals.

La difusió del ferrocarril i dels passatges marítims va facilitar aquest procés amb conseqüències evidents sobre l'urbanisme de les grans ciutats i l'increment demogràfic. També els nous mitjans de transport i de comunicació van repercutir sobre l'economia (transport de mercaderies, esdeveniments polítics, inestabilitat social, difusió de la informació...). El trànsit de les monarquies absolutes, imperialistes, a les nacions actuals, va seguir un procés que es va completar a principis del segle següent; la conflictivitat política s'evidencià amb guerres imperialistes com les napoleòniques, guerres civils com la de secessió als Estats Units, la multiplicitat de processos d'independència de les denominades colònies americanes o la colonització d'Àfrica, entre d'altres.

Un dels primers treballs d'escultura de dimensions reduïdes amb alumini fos són les àligues de la part superior de les llances de les banderes dels regiments imperials, encarregades a mitjans del segle XIX, per Napoleó III a Henry Sainte-Claire Deville, introductor del mètode de reducció electrolítica de l'alumini (Panzetta, 2013, p. 17). Cal apuntar que en aquells

moments la producció era excessivament cara.

Un cas similar en què l'alumini es va utilitzar com a símbol de prestigi³ ja que el valor d'aquest nou metall era similar al de la plata, és el del monument a Washington: un obelisc de marbre blanc de quasi 190 metres, símbol commemoratiu al primer president dels Estats Units (George Washington), que es va dotar d'un piramidó d'alumini en la seva punta. Aquest, de mides limitades, 22,6 cm d'alçada i 14,2 cm en cada costat de la base, amb un pes 2,8 kg (100 oz), va ser elaborat per William Frishmuth. El monòlit es va completar el 1884, dos anys abans de que succeís el fet inevitable, l'obtenció d'alumini d'una manera econòmica (Campos, 1985, p.170; Springer Science+Business Media New York i ASM International, 2012, p. 190).

Una altra referència situa la primera escultura d'alumini coneguda als voltants de 1860, fosa a partir d'un marbre grec que actualment es troba al Louvre de París (Godfraind, Pender i Martin, 2013, com es va citar en Holmberg, 2015, p. 22). Aquesta és una reproducció de 55 cm de l'escultura de *Diane de Gabies*, de 2,25 m d'altura i va ser descoberta a la dècada dels cinquanta del segle XX. En la inscripció apareix el nom de la foneria que la va reproduir: la foneria "Paul Morin et Cie" de Nanterre (França); aquesta societat fou creada el 1857 (entre els seus fundadors es trobava Henri Sainte-Claire Deville [vegeu l'apartat 1.1_Contexte històric de l'alumini]) i deixa de fondre alumini a partir del 1860. L'aliatge que es va utilitzar contenia un 3 % de coure, un 1 % de silici i 0,7 % de ferro i, per

3 A la reputació que li donava l'alumini a Napoleó III, s'hi sumava el poc pes que aportava a les llances un metall tan lleuger, que es traduïa amb soldats més frescos per al combat.

descomptat, algunes impureses (Kaye i Street, 1982, p. 38; Renaux, 2007, p. 42)

Per altra banda, la primera escultura pública d'alumini és la d'*Anteres* o *Antares*⁴ realitzada per un escultor rellevant de l'escultura anglesa, Alfred Gilbert (1854-1934) el 1893 (Ashby, 1999, p.82); en aquests anys l'obtenció d'alumini ja havia adoptat els processos necessaris perquè fos accessible. Probablement és l'escultura en alumini més popular a causa de la seva ubicació al cim de la font commemorativa de Shaftesbury⁵, emplaçada al bell mig de la Piccadilly Circus de Londres. L'elecció de l'alumini va respondre a la seva lleugeresa per la necessitat d'estabilitzar la figura alada en equilibri sobre la punta del peu⁶. L'alumini va rebre un tractament d'imitació del bronze, material de fosa propi de l'època⁷ que ens permet entendre que en aquest cas, com en altres posteriors, l'alumini va ser uti-

4 Germà d'Eros, deu de l'amor irracional, Anteres representa l'amor racional. L'escultura és coneguda com "The Angel of Christian Charity", encara que popularment se l'anomena "Eros" (p. 111).

5 Anthony Ashley-Cooper (1801-1885), setè comte de Shaftesbury, commemorat per la seva filantropia.

6 La cama que dona suport a tot el pes de l'escultura és massissa, mentre que la resta del cos està buit (Sheppard, 1963, par. 45). L'alumini utilitzat va ser alumini pur superior al 98%; en l'anàlisi elaborat posteriorment amb motiu de la seva restauració, aparegueren altres components, segurament pels efectes de la contaminació provocada per la utilització en la fosa, del mateix gresol emprat per a fondre el bronze (Bidwell, 1986, p. 40)

7 En aquest període de finals de segle XIX, la fosa del bronze era un procediment molt apreciat, sense cap mena de qüestionament, com ho havia estat en els períodes precedents. El bronze aportava un valor afegit al cost econòmic i a la durabilitat de les peces resoltes definitivament en aquest aliatge, denotant el pes específic d'una trajectòria històrica de pertinença al règim polític, econòmic i militar de cada societat. Les escultures de bronze transmetien, en paral·lel, quelcom més profund que la mateixa representació al·legòrica, comunicaven l'exercici d'aquest poder i la seva pertinença com a mitjà d'expressió. El final del s. XIX encara se situa en el marc de l'Imperialisme de les potències europees i aquestes no dubten en utilitzar aquest model d'expressió.

litzat com un material de substitució del metall predilecte, el bronze, que van emular.

Segons Bidwell (1985):

En la restauració d'Eros, per a tornar-li l'aparença original, l'alumini es va envellir “La mayoría de los métodos tradicionales implicaban el uso de cloruro mercurico de una u otra forma, pero se estableció que éste tendría un efecto corrosivo sobre el aluminio, por lo que se evitó. Al final, se descubrió que una fórmula sencilla basada en una conocida marca de tinta negra, plumbago y pulido era la forma más satisfactoria y menos perjudicial de producir un efecto envejecido. La superficie acabada se trató finalmente con lanolina (p. 42)

Dorment (1986) explica que la utilització de bronze en els altres elements de fosa de la font, va donar llibertat a Gilbert a l'hora d'aplicar color, gràcies a la possibilitat de ser patinat, s'entén en contraposició a les limitacions cromàtiques de l'alumini (p. 136).

Aquest mateix escultor va continuar utilitzant l'alumini en diferents projectes monumentals i com en la font commemorativa de Shaftesbury, va conjugar el seu ús amb altres materials, com per exemple, la tomba del Duc de Clarence situada a la capella de San George del castell de Windsor; en aquest cas amb diversos materials com el marbre, el bronze, el llautó i l'ivori⁸ (Dorment, 1986, pp. 153-155).

⁸ En aquest últim cas, l'alumini va estar dotat d'un color gris-verdós (Dumont, 1985, p. 155).

La utilització de l'alumini fos per a resoldre problemes d'estabilitat en els projectes monumentals és referenciada en altres obres, com en el *Monumento ai Caduti dell'8 agosto 1848* de Bolonya, executat per l'escultor Pasquale Rizzoli (1871-1953) i fos per la Foneria Artística Vignali de Florència. En aquest cas el personatge, plebeu que suporta la bandera amb un braç, podia estar sotmès a grans tensions estructurals si aquesta bandera es resolvia amb un material pesant com el bronze. Per aquesta raó, la bandera es va fondre en alumini que posteriorment, va ser recobert electrolíticament amb coure i patinat com si fos un bronze⁹ (Panzetta, 2013, p. 18).

Com podem veure en aquests casos, l'alumini no tenia entitat pròpia, era simplement un recurs per solucionar problemes estructurals. El tractament final pretenia imitar el valor de referència, el bronze. Segons Panzetta (2013) “sino a queste date il nuovo metallo è utilizzato in scultura per risolvere questioni di peso e di statica, sempre visivamente camuffato come il tradizionale bronzo” (p. 18).

L'escultor francès Auguste Rodin (1840-1917) va viure la darrera meitat del XIX i els primers conflictes del segle XX, un moment històric de transformació industrial, econòmica, social i política que acabà reestructurant tota Europa. Un període en el qual artísticament, Rodin va conviure amb un sistema rígid i dominant d'art acadèmic, amb el que va tenir més d'un incident, com també els hi va passar als pintors impressionistes. Aquests artistes van interioritzar una concepció romàntica i rebel del model d'artis-

⁹ Segons consta en un document, datat el 1903, i probable data de la fosa del professor Vitali, president del Comitè Executiu, adreçada al Batlle de Bolonya (Panzetta, 2013, p. 18).

ta i van expressar una voluntat de renovació determinant.

Rodin es va plantejar la seva escultura com una expressió vital del moviment, una constant en part de l'escultura del s. XX, i de l'energia, amb el contrast de forces i tensions internes. Aquesta energia vital es posa en relleu en la seva obra figurativa amb els temes tractats, amb les actituds i les postures dels models, de vegades reconstruïdes amb fragments preelaborats i amb el tractament de la superfície de l'obra. La pell escultòrica de les obres d'aquest escultor mostra les pressions interiors de l'estructura òssia amb el seu revestiment muscular en contraposició a les accions vitals, impulsives d'un modelatge àgil i dels rastres afegits del procés de fosa.

Rodin obliga al espectador a reconocer la obra como resultado de un proceso...ciertas esculturas de Rodin podrían casi servir de ilustraciones para un manual sobre fundición de bronce. Esculturas como el Torso del Hombre de 1877 están llenas de accidentes ocurridos en el proceso de fundición: agujeros producidos por bolsas de aire que no se han tapado; crestas y burbujas que no se han rebajado; una superficie jaspeada por las marcas del proceso que Rodin no ha alisado, sino dejado tal cual, de modo que constituyen la evidencia visual del paso del medio mismo de un estado a otro. (Krauss, 2002, pp. 19-40)

Rodin, que es converteix en l'escultor de referència d'aquesta època a banda dels seus aspectes innovadors, en els seus tallers utilitza i delega en els seus col·laboradors, les tècniques tradicionals de modelatge, buidats de guix, talla de pedra i fosa de bronze. Dins d'aquesta varietat de

materials no hem trobat cap referència sobre l'aplicació de la fosa d'alumini entre les obres de Rodin, el que sembla lògic i prou significatiu respecte a la incidència d'aquest metall en l'escultura fosa de l'època.

Hem de contextualitzar doncs, en aquells primers moments de l'aplicació en l'escultura de l'alumini, el seu ús excepcional que ve donat inicialment per raons de prestigi relacionades amb el valor econòmic, ve per raons estructurals de pes i d'estabilitat de les obres foses o per motius honorífics, com és el cas del bust en homenatge a la carrera de Sainte-Claire, realitzat per l'escultor francès Gabriel Jules Thomas (1824-1905).

Seguint el rastre del moviment Arts and Craft (1850-1914), que reivindicava que l'art provenia de l'artesania i la necessitat de dotar a la producció industrial de valors estètics que contrarestessin la seva "lletjor", apareix cap al 1880, l'art nouveau¹⁰, coincidint amb les innovacions tècniques que permeteren començar a albirar el futur industrial de l'alumini i finalitzà a principis de la segona dècada del segle XX; es podria dir que coincidint amb l'inici, el 1914, de la Primera Guerra Mundial.

Aquest estil promovia el canvi, la ruptura amb l'academicisme i els corrents artístics com el realisme i l'impressionisme; per tant, se centrava en buscar allò nou, modern, la producció seriada i les formes naturals.

Les ornamentacions es plantejaven dinàmiques i orgàniques amb la fina-

¹⁰ Amb aquest nom és com fou denominat aquest moviment artístic a França i Bèlgica, però també se'l coneixia per *Modern Style* a Anglaterra, *Liberty* o *Floreal* en Itàlia, *Jugendstil* a Alemanya, *Tiffany* als Estats Units i *Modernisme* a Espanya, depenent en cada cas de la interpretació que en feia cada país.

litat de què s'integressin en el conjunt dels elements amb els quals havia de compartir l'emplaçament, per tant el concepte d'unitat esdevingué un dels eixos primordials (Hatje, 1973, p. 207). Per tal d'aconseguir aquest efecte d'unitat, agilitat i dinamisme, l'art nouveau es valia majoritàriament, de la corba i l'asimetria.

Tot i que l'alumini era un material nou que ja es començava a tenir present, encara no se n'obtenien quantitats prou elevades per a satisfer el mercat de la decoració. La pedra, el vidre policromat i tenyit o el ferro forjat, eren alguns dels materials més usats durant aquest període (Gillette, 1990, p. 10).

Excepcionalment, entre les múltiples reproduccions de l'escultura *Teufel* del caricaturista alemany Thomas Theodor Heine (1867-1948), en trobem una en alumini. L'única informació que n'hem trobat és que aquesta fou fosa a la foneria Pfefferkorn, fundada el 1887 i que a partir de 1913 es convertí en una de les primeres a fondre alumini a Munic (Alemanya)¹¹ (Aluminium und Metallgiesserei Pfefferkorn, s.d.). Aquest escultor fou conegut per les seves il·lustracions crítiques publicades en la revista satírica *Simplizissimus* que li suposaren més d'un problema. Una de les temàtiques habituals tractades per Theodor era la monarquia i la burgesia i, com en el cas del *Teufel*, el diable (Kern, 2003).

¹¹ No s'ha pogut corroborar si l'exemplar en alumini fou contemporani als reproduïts en bronze datades entre 1904 i 1905; en tot cas, la foneria on fou fos el *Teufel* d'alumini, no s'especialitzà en aquest metall fins al 1913.

1.2.1.2_ L'escultura en alumini fos a les avantguardes

Valeriano Bozal (1978) acota el període històric de les avantguardes amb dates concretes (1850-1939) que corresponen als aproximadament quaranta anys entre finals del segle XIX i l'inici de la Segona Guerra Mundial. Aquest és un moment crític de transformació que acabarà consolidant el model capitalista del segle XX i en el qual l'artista d'avantguarda viu el conflicte amb l'esperança de convertir-se en una peça clau de la renovació. El mateix autor ho descriu de la següent manera:

El artista de los cuarenta primeros años del siglo veinte vivió el período decisivo, hoy lo vemos con claridad, del asentamiento del capitalismo. Este asentamiento se produjo en medio de crisis y tensiones, el nacimiento de los fascismos, el desarrollo del capitalismo monopolista, el hundimiento de las formas estatales tradicionales y el nuevo papel del estado, las crisis económicas... que hicieron pensar no tanto en su asentamiento cuanto en su hundimiento. En efecto, desde el punto de vista de la cotidianidad se vivía más en la incertidumbre que en la seguridad, más en el cambio que en lo establecido. La posibilidad de que ese cambio fuese el comienzo de una transformación decisiva, revolucionaria, y de que se pudiera contribuir al proceso, era una posibilidad aceptable y razonable para el artista y el intelectual de vanguardia. (p. 13)

En aquest període europeu, un seguit d'esdeveniments determinen certs fenòmens artístics; els primers anys amb la Primera Guerra Mundial (1914-1918) i la Revolució Russa (1917), seguides del període d'entreguerres

dels anys vint i la crisi econòmica de la mateixa dècada (1929) que s'estén als anys trenta i finalment, amb l'inici de la Segona Guerra Mundial (1939-1945). Les primeres avantguardes van sorgint al voltant d'aquests esdeveniments i els intervals temporals corresponents.

Les avantguardes mantenen una actitud inicial de recerca, especialment vinculada a la pintura que acabarà alterant el volum tancat tradicional de l'escultura. El procés evolutiu cap a l'abstracció, la integració de l'espai, els processos de construcció amb diversos tipus materials o l'articulació d'objectes quotidians, modificarà els paràmetres dels procediments tradicionals de l'escultura.

L'abstracció (1910) que ja venia anunciant-se abans de la guerra amb l'obra del pintor rus Wassily Kandinsky (1866-1944), marcà una dràstica ruptura amb la figuració, centrant-se en l'harmonia de la forma, no associada a la representació, i del color.

L'escultura, d'evolució molt més lenta, va anar resseguint les avantguardes i, amb un comportament menys àgil, va conjuguar amb les noves troballes i els procediments tradicionals, articulant figuració i abstracció, obrint-se al compromís amb l'espai i vorejant o defugint, segons el cas, el procés progressiu de desmaterialització.

Les avantguardes, en promoure una actitud experimental amb l'art, aboquen les tècniques tradicionals de l'escultura a l'obsolescència, però no aconsegueixen la seva absoluta marginació. Les seves troballes derivades d'aquesta actitud, situen l'activitat escultòrica de bona part del segle vint en un territori divers i complex on conviuen amb major o menor con-

flicte realitats diferents.

El cubisme és un dels primers moviments d'avantguarda del París de principis de segle, situant-se entre el 1907 i 1914. Aquest "Isme" altera la representació de l'objecte a partir de l'únic punt de vista i realitza una reordenació juxtaposant punts de vista diferents. Els pintors més representatius del moviment els trobem en Georges Braque (1882-1963), Joan Gris (1887-1927), Fernand Leger (1881-1955), Robert Delaunay (1885-1941) i Pablo Picasso (1881-1973).

En aquest corrent es distingeixen dues estratègies, la del cubisme analític i la del sintètic¹².

La separación entre cubismo analítico y cubismo sintético no es una frontera precisa y clara, la historiografía es unánime en señalar que el paso del uno al otro se produjo en 1912 y que se debe substancialmente a dos innovaciones técnicas que se produjeron en ese año: los 'papiers collés' de Braque y las construcciones tridimensionales de papel, cartón y chapa metálica de Picasso. (Llorens, 2002, p. 120)

Serà aquest darrer, el cubisme sintètic, el responsable del procés de renovació de l'escultura a través de les seves recerques (estratègia sintètica-constructiva). Les exploracions derivades d'aquest cubisme, com la *Guitarra*, del 1912, o la *Mandolina i clarinet*, del 1913, de Picasso, van donar peu a tota una activitat constructiva amb múltiples materials, en

12 Segons Llorens (2002).

l'escultura del segle vint. L'activitat constructiva conseqüent va prioritzar els materials transformats industrialment.

En l'escultura cubista, com en altres avantguardes posteriors, la fosa de bronze es manté com es pot comprovar amb escultors com Jacques Lipchitz (1891-1973), Ossip Zadkine (1890-1967) i Alexander Archipenko (1887-1964), entre d'altres (Yvars et al, 2002).

Una de les obres de referència fosa en bronze, en aquest cas de Picasso, és *El got d'absenta* (1914). La seva rellevància, en aquest context, rau precisament en la policromia utilitzada sobre un bronze, que defuig l'ús tradicional de la pàtina en aquest aliatge. La tradició de la fosa de bronze en l'escultura de l'època aplicava color de forma artificial amb les pàtines químiques, per tant l'excepcionalitat d'*El got d'absenta*, ve donada entre altres raons formals, per l'aplicació sorprenent de pigment pintat sobre material de fosa.

Manfred Schneckenburger (2001) comenta sobre aquesta obra que “fue Picasso quien allanó el camino. En 1914, realizó seis vaciados en bronce de *Vaso de absenta* a partir de modelos de cera y pintó cada uno de ellos de manera diferente” (p. 430). Aquesta pràctica de la pintura aplicada al metall fos, sigui bronze o alumini, la tornarem a trobar en escultors vinculats al surrealisme com Salvador Dalí (1904-1989) i Joan Miró (1893-1983) i també en posteriors de la segona meitat del segle XX.

L'escultura fosa en alumini podria semblar adient en determinades escultures cubistes de formes volumètriques geometritzants que varen ser foses amb bronze, de fet se'n van arribar a fondre algun exemplar en al-

gun altre metall, concretament amb plom, però aquest no va ser el cas de l'alumini entre els artistes esmentats; altrament, sí que es poden trobar exemples en escultors postcubistes dels anys trenta, com l'escultor Mino Rosso (1904-1963) amb un cert nombre de foses amb alumini. Una altra cosa és la comprensible absència d'aquest metall fos en les escultures cubistes construïdes amb metall laminat com el *Clown* de 1914 d'Henri Laurens (1885-1954) que conjuga amb fusta policromada o la *Siluetta* de 1913, d'Alexander Archipenko, en aquesta darrera ocasió capgirant les tornes del metall que, mitjançant el cromat, adopta un aspecte semblant al de l'alumini.

Una altra tendència, aquesta sorgida a Itàlia, que guardava una estreta relació amb el ressorgiment industrial de principis de segle fou el futurisme (1909). Filippo Tommaso Marinetti (1876-1944) es converteix en la figura cabdal i pública d'aquest moviment a l'escriure el 1909, el “Manifest Futurista”. Aquest centrà la seva atenció en l'exaltació de la tecnologia, la màquina i la modernitat; reafirmant aquestes premisses, Marinetti (1978/1909) proclama: “un automóvil de carrera es más hermoso que la Victoria de Samotracia” (p. 106). La vindicació de la velocitat com element emblemàtic de la nova realitat va ser una constant a principis de segle. Aquesta contraposició de models il·lustrà a la perfecció les inquietuds i els rebutjos d'aquest moviment.

L'alumini no només era capaç de simbolitzar el missatge que els futuristes volien transmetre, sinó que a la vegada, tenia unes connotacions patriòtiques ja que era un metall que Itàlia era capaç de produir a escala nacional. Aquest argument va servir de discurs perquè el feixisme se l'apropies, associant-lo a la solidesa, la monumentalitat i la perdurabilitat (Schnapp,

2001, pp. 258-259).

Umberto Boccioni (1882-1916) és un dels escultors del moviment futurista, amb obres claus com *Desenvolupament d'una botella a l'espai* del 1912.

Krauss (2002), referint-se a aquesta obra, comenta:

Tan incongruente como el hecho de que su primera obra, (Desarrollo de una botella en el espacio, 1912) totalmente acabada la produjera en bronce, pese a que entre las prioridades, que el Manifiesto especificaba para la escultura, figuraba el empleo de materiales antitradicionales como el vidrio, las láminas de metal, el alambre o la luz eléctrica. (p. 57)

Boccioni (1912) en el seu "Manifest tècnic de l'escultura futurista" exclamava:

Distruggere la nobiltà tutta letteraria e tradizionale del marmo e del bronzo. Negare l'esclusività di una materia per la intera costruzione d'un insieme scultorio. Affermare che anche venti materie diverse possono concorrere in una sola opera allo scopo dell'emozione plastica. Ne enumeriamo alcune: vetro, legno cartone, ferro, cemento, crine, cuoio, stoffa, specchi, luce elettrica, ecc. ecc. (par. 34)

Semblaria raonable una fosa en alumini, especialment en l'obra d'aquest escultor anomenada anteriorment o en la posterior *Formes úniques de la continuïtat a l'espai*, del 1913, i no deixem de plantejar-nos quines són les raons concretes per les quals la fosa d'aquesta peça i d'altres de Boccioni, no es van realitzar amb alumini fos. De fet, aquest metall ni tan sols

l'esmenta en la seva llista citada.

Altres artistes del Futurisme sí que es van interessar en les possibilitats que aquest nou metall els hi podia oferir. Alfonso Panzetta (2013) en el catàleg "ALLUMINIO. Tra Futurismo e Contemporaneità, un percorso nella scultura italiana sul filo della materia", fa una aportació rellevant al respecte:

La prima opera in alluminio, impiegato per fusione, pare essere il «Guizzo di pesce» del 1915 di Fortunato Depero, nel pieno di quella "Ricostruzione futurista dell'universo" già ricordata. Mentre il modello in gesso è conservato al MART di Rovereto, della fusione in alluminio non si aveva notizia sino al ritrovamento di una fotografia risalente alla metà degli anni Sessanta, dove è chiaro come l'autore abbia avuto l'intenzione di esaltare con il lucido metallo i bagliori del pesce dalle linee sincopate. (pp. 19-20)

Afegint que la producció d'escultures en alumini relacionades amb el Futurisme a Itàlia es concentra en els anys vint i trenta i que ell anomena com "Segon Futurisme marinettià":

Dopo questo primo esempio, la maggioranza delle opere in alluminio si concentrano negli anni del Secondo Futurismo marinettiano, in particolare tra la fine degli anni Venti e tutti gli anni Trenta, con una tarda appendice nei primi anni Quaranta con le opere di Wladimiro Tulli; un futurismo molto e più strettamente legato all'estetica del regime e ai più radicali miti della velocità e del volo, come dichiarato sia nel "Manifesto dell'Aeropittura e Aeroscultura futurista"

pubblicato nel 1929 - che codifica una tendenza in atto dalla metà degli anni Venti e culmina con le prime grandi mostre tenutesi a Milano e a Firenze nel 1931 alla Galleria Pesaro e alla Galleria d'Arte Firenze¹⁵ - sia nel "Manifesto tecnico dell'Aeroplastica futurista" del 1934, firmato da Regina insieme a Bruno Munari, Carlo Manzoni, Gelindo Furlan e Ricas, il gruppo futurista milanese. In queste importanti esposizioni saranno soprattutto Thayaht e Regina, ma anche Ram, gli autori più geniali e singolari nell'utilizzo dell'alluminio: Thayaht e il fratello Ram soprattutto per fusione, Regina in lamine ritagliate, curvate e pieghettate. (p-20)

En l'ús de l'alumini fos, Alfonso Panzetta destaca a Thayaht (Ernesto Michaeles) (1893-1959) qui realitza gairebé tota la seva producció amb aquest sistema, esmentant obres com *Violinista*, del 1927, i *Bautta*¹³ i *Dux*, del 1929. La vinculació d'aquesta darrera obra al règim feixista de Mussolini a través de Marinetti, del qual deriva el títol (segons sembla, el "duce" es reconegué en l'escultura) acaba convertint la *Dux* en una icona feixista. Panzetta (2013) recull un fragment de la carta enviada al germà de Thayaht:

L'idea della scure de Littorio, degli archi romani, del l'elmo sguardo fisso sul lontano avvenire; si riuniscono e si compenetrano per creare un insieme che "rassomiglia" al Cuce. Questo non vuol essere un ritratto, ma un'effigie simbolica della potenza dinamica dell'Uomo che Regge le sorti d'Italia... e forse del mondo. (p. 36)

¹³ D'aquesta escultura se'n varen fer diverses reproduccions en diversos materials, majoritàriament amb escaiola, però també amb marbre i llautó. En alumini només se'n va realitzar una reproducció (Cerutti, s.d., par. 2).

En aquest catàleg, Panzetta expressa la presència constant de l'alumini en l'escultura italiana del segle XX i en l'exposició hi presenta un bon nombre d'escultors, alguns dels quals introduïrem més endavant. Referint-se a la utilització de l'alumini en l'escultura diu el següent:

Da un lato la sua presenza costante e diffusa nel contemporaneo, potremmo dire quasi privilegiata, sbandierato come se tale metallo fosse il simbolo più evidente della ricerca plastica attuale, ignorando, di fatto, il suo utilizzo costante nel secolo precedente dall'altro l'esistenza di capolavori in alluminio che si scalano con regolarità per tutto il corso del Novecento italiano e che rendono questo materiale un medium, in qualche modo, ormai "tradizionale" al pari del bronzo, del marmo o della terracotta, in perfetta sintonia cronologica ed espressiva con quanto è avvenuto nella produzione artistica internazionale, riconoscendo poi che anche la produzione internazionale fu sollecitata da una ricerca tutta italiana negli aspetti teorici. (p. 15)

L'expressionisme és un moviment heterogeni; com avantguarda es considera el sorgit a l'Alemanya de principis de segle, coetani del cubisme i del fauvisme i amb antecedents rellevants com Edvard Munch (1863-1944), James Ensor (1860-1949) o Emil Nolde (1867-1956). Engloba diferents manifestacions de l'Europa del nord que reaccionen contra la representació objectiva de la realitat, intentant plasmar amb la figuració, els aspectes subjectius en una situació de crisi emocional. L'expressionisme plasma una visió tràgica en un context històric depriment.

Es presenten dos grups, Die Bruke (1905-1913) i Der Blaue Reiter¹⁴ (1911-1913). En escultura escullen els procediments tradicionals; en concret, predomina la talla de fusta i algunes foses amb bronze d'Ernst Barlach (1870-1938), sense incidències en l'alumini fos.

La transcendència del **Constructivisme rus** (1914) en el món de l'art i de la cultura occidental no és qüestionable. Els primers impulsos deriven de la influència de les avantguardes del sud però, en el context de la Revolució Russa del 1917, el desenvolupament posterior tindrà una amplitud reveladora per la incidència en l'escultura, el disseny i l'arquitectura, i pels propòsits de participació en el desenvolupament social. Artistes com Vladimir Tatlin (1885-1953), Kasimir Malevič (1879-1935), Aleksandr Ródchenko (1891-1956) formen part del nucli d'aportació més valuós amb independència de les oportunes divergències entre “constructivisme”, “productivisme” i “suprematisme”.

L'alumini intervé en l'escultura del s. XX com subproducte industrial laminat, ja de forma prematura en les “derivades constructives” posteriors a la visita del taller de Picasso a París de l'escultor rus, Vladimir Tatlin, (1885-1953); *Relleu de cantonada* del 1915, n'és l'exemple. Tatlin desenvolupa una innovadora activitat constructiva i totalment abstracta a partir del que ell denomina com a cultura dels materials en el “Programa del Grup Constructivista” de 1920. S'allunya del referent figuratiu, valorant la capacitat constructiva de materials comuns i estableix un joc particular entre l'espai

14 El Die Bruke, format per artistes com Ernst Ludwig Kirchner (1880-1938), Karl Schmidt-Rottluff (1884-1976), Emil Nolde (1867-1956) o Otto Mueller (1874-1930) i el Der Blaue Reiter amb components com Vasili Kandinski (1866-1944), Franz Marc (1880-1916) i Paul Klee (1879-1940).

i els materials i entre l'objecte i el lloc arquitectònic.

Les diverses aportacions de Tatlin incidiran profundament en la renovació de l'escultura occidental del segle. Aquest constructivisme, amb les aportacions cubistes de Picasso i de Julio González (1876-1942) i les seves variants, evolucionarà cap a l'ús de materials amb seccions industrials més viables per al procés constructiu, donant peu a diferents vies una d'elles la dels “altres constructivistes”, també d'origen rus emigrats a occident, els germans Nikolaus Pevsner (1902-1983) i Naum Gabo (1890-1977), aquest darrer també construeix amb xapes d'alumini en l'elaboració d'un dels seus caps de 1916.

La perllongada activitat constructivista del treball amb ferro i amb altres metalls es desenvoluparà amb contundència durant tot el s. XX. Aquesta evolució constructiva de l'art s'allunyarà de l'ús de materials i tècniques tradicionals com la fosa, essent la seva efervescència sostinguda una de les circumstàncies paral·leles a la minvant aplicació de la fosa d'alumini.

En els primers anys de la Primera Guerra Mundial aparegueren un seguit de corrents amb motivacions ben diferenciades. El dadaisme (1916) sorgeix en aquest context com una reacció a l'absurditat d'aquest enfrontament mortífer. La neutralitat suïssa va permetre a Zuric (Suïssa) les activitats dels promotors Hugo Ball (1886-1927) i Tristan Tzara (1896-1963); aquest darrer autor dels manifestes dadaistes, juntament amb altres artistes i poetes que van presentar les seves activitats en el bar d'Hugo Ball, el Cabaret Voltaire.

El dadaisme desenvolupa dues estratègies escultòriques amb la intenció

de negar el valor com a obra d'art de les creacions, *la recuperació d'objectes* i *el collage* i la seva derivada tridimensional, *l'assemblatge*.

Els ready-mades de Marcel Duchamp (1887-1968) enceten un camí, en relació amb l'"objecte" que es consolidarà durant tot el segle, especialment a partir dels seixanta amb el Pop Art. L'objecte, ja sigui el trobat, el buscat, el reciclat o el biogràfic com a "material escultòric", va tenir i encara conserva, la seva esplendor, estenent-se com "art objectual" al llarg de tot el segle XX fins avui en dia (Marchán, 1994, pp. 168-171). Amb aquesta activitat artística s'obre tot un procés en l'art del segle passat centrat en la recuperació de l'objecte quotidià al qual s'aniran afegint un bon nombre d'artistes d'etapes posteriors.

La acción de Duchamp ha estado preñada de consecuencias para el arte del siglo XX. Profundiza, en primer lugar, en las propuestas cubistas de superación de las técnicas tradicionales y aún más en la aproximación del arte a la realidad, ya que en estos objetos ésta es representada sin residuos imitativos. (Marchán, 1994, p. 161)

L'art objectual parteix de la tria de l'objecte i de la recontextualització d'aquest, alliberant-lo del determinisme funcional o de consum.

He aquí las razones para rechazar la fuente del señor Mutt: 1ª Algunos arguyeron que era inmoral, vulgar. 2ª Otros que era un plagio, una simple pieza de fontanería. Ahora bien, la fuente del señor Mutt no es inmoral, esto es absurdo, no es más inmoral que una bañera es inmoral. Se trata de un accesorio que se ve cada día en los escaparates de los fontaneros. Si el señor Mutt hizo o no la

fuelle con sus propias manos carece de importancia. Él la ELIGIÓ. Cogió un artículo ordinario de la vida y lo colocó de tal forma que su significado habitual desapareció bajo el nuevo título y punto de vista –creó un nuevo pensamiento para ese objeto. (Duchamp, com es va citar en Ramírez, 1993, p. 54)

En relació amb els assemblatges, amb la recreació dels espais del seu domicili (Merzbau [1923-36]), Kurt Schwitters (1887-1948) i també altres artistes com Constantin Brancusi (1876-1957), tot i que desvinculats de qualsevol corrent concret i també dels mateixos assemblatges, obren tot un nou recorregut cap a la pràctica de les posteriors instal·lacions.

Amb aquestes pràctiques de Duchamp i de Schwitters, es deixa de banda qualsevol tècnica tradicional orientada a la permanència de l'obra de fet, la seva obsolescència, de vegades deliberada, és implícita en una bona part d'aquestes on preval a través de l'absurd el comportament crític, provocatiu, burlesc o lúdic. En conseqüència, cap d'aquestes dues propostes passa immediatament per la fosa d'alumini, però sí que podem observar en les manifestacions de les dècades posteriors el seu reflex.

El Dada s'ha considerat com un precedent del Surrealisme. Malgrat que André Breton (1896-1966) va negar que el Surrealisme provingués del Dada, uns quants dels seus components originàriament, van participar d'aquest moviment. El surrealisme va plantejar una crítica bàsica respecte a l'alienació de l'individu en una societat burgesa capitalista i va proposar una actitud alliberadora a través de la imaginació, l'inconscient, la bogeria o l'extravagància. El fet surrealista defugia els valors tradicionals occidentals recorrent a la immediatesa de la vivència irracional mitjançant l'explo-

ració del territori de l'inconscient.

Une comparaison entre l'objet dada et l'objet surréaliste que lui a succédé est d'ailleurs tout à fait révélatrice. L'objet dada peut surprendre, car il bouleverse les modèles conceptuels convenus, mais il ne choque pas de la même façon que l'objet surréaliste. Il n'est pas érotique ni scabreux, il n'exprime pas des tabous profondément enracinés et invouables. Ils n'a pas une portée symbolique universelle, et il n'est pas mystérieux ni énigmatique. Il est intellectuel, spirituel, ironique et non magique ou dérangeant. L'objet dada n'évoque pas des craintes profondes, des vérités ou des fictions collectives et ne représente pas une incursion dans l'inconnu. (Rowell, 1986b, pp. 52-53)

En opinió de Castro (2002), l'objecte surrealista no és una representació de la realitat exterior en tot cas, l'empremta d'aquesta. L'objecte ens remet a una essència que és fora de la representació, actua com un condensador d'energies psíquiques, com un element transitiu que ens condueix a una altra realitat del coneixement. Per Castro l'objecte en l'obra surrealista ja porta implícit la idea de que qualsevol home pot actuar com artista (pp. 114); aquest principi i les al·lusions als rituals propis de les cultures no europees, mantindran trajectòries posteriors en les obres d'autors com Joseph Beuys (1921-1986) dels que en parlarem més endavant.

La major part de les avantguardes acaben desenvolupant-se en paral·lel al mercat que les absorbeix. També els artistes surrealistes acaben fent concessions i s'alineen amb les exigències del sistema del mercat. Ho fan utilitzant una producció vinculada en una gran part de les obres, a les

tècniques tradicionals, també de l'escultura. Roswell (1986) explica com aquesta concessió els allunyà dels principis del moviment:

Le fait même que sous sa forme idéale l'image surréaliste devait être la matérialisation fortuite de pulsions irrationnelles fugaces interdisait d'emblée la pratique de la sculpture dans son acception traditionnelle. Aussi bien, dans les dernières années, quand certains des plus grands peintres surréalistes s'essayèrent à une sculpture traditionnelle, la transposition en trois dimensions et en matériaux durables de ce qu'était auparavant une image fugitive élimina presque toujours le caractère spontané et précaire de leurs découvertes initiales. (p. 164)

Des artistes américains transposaient le surréalisme dans le bronze et à plus grande échelle, réduisant 'un stéréotype ce qui était à l'origine la manifestation authentique de désirs invouables, fugaces et incontrôlés. Ces œuvres et ces artistes ne peuvent nous convaincre, car il leur manque toujours le facteur essentiel: la foi dans la vitalité, la spiritualité et l'imaginaire humains. (p. 188)

Malgrat l'opinió manifestada, una bona part dels artistes, inicialment surrealistes o influïts per aquesta tendència que han fet incursions en l'escultura o són escultors rellevants, en el context del segle XX, han emprat procediments tradicionals com el modelatge i la fosa de bronze. Max Ernst (1891-1976), Joan Miró (1893-1983), Jean Arp (1886-1966), Alberto Giacometti (1901-1966) o Henry Moore (1898-1986) entre altres, alguns d'ells amb una trajectòria perllongada en èpoques posteriors. Si el fet de passar les obres a bronze podia tenir relació amb les demandes del sistema, una hipotètica fosa amb alumini, s'allunyaria d'aquestes exigències; en cap

cas dels artistes anomenats, tenim referència d'haver produït obra amb alumini fos.

Miró és un dels artistes catalans que fa servir la fosa de bronze; fins i tot, en documentà i filmà l'elaboració del procés de fosa a la desapareguda i prestigiosa foneria Parellada de Barcelona de les escultures realitzades a partir d'objectes quotidians. Malgrat tot, inicialment els objectes de Miró no van rebre aquesta transposició. En relació amb l'*Objet du couchant* (1936) (Objecte al capvespre), en un fragment d'una carta datada a febrer de 1975 (arxius de Mnam, del Centre Georges Pompidou) enviada per Miró a Dominique Bozo, responsable d'institucions culturals de França, destaca el caire impulsiu, quasi irracional de la troballa:

Il a été fait et peint à Montroig, avec un tronc de caroubier, arbre d'une grande beauté qu'on cultive en ce pays et que produit un fruit qu'on donne à manger aux chevaux, les autres objets (de fer) furent trouvés au hasard de mes promenades. Je tiens à vous préciser, et ceci est d'une grande importance, que quand je trouve quoi que ce soit, c'est toujours par une force magnétique, plus forte que moi, que je suis attiré et fasciné. (Miró, 1975, com es va citar en Rowell, 1986e, p. 165)

Algunes de les escultures de Miró, relacionades amb la recuperació d'objectes i foses en bronze, com ho va ser en el seu moment l'obra de Picaso esmentada anteriorment, *El got d'absenta*, van rebre un afegit de color pintat, en aquest cas aplicant diferents coloracions que arriben a cobrir totalment la superfície del material. El material, recobert pel color, desapareix totalment a la percepció visual de l'espectador. A la Fundació Miró

de Barcelona es poden trobar diferents exemples; n'és un d'ells la figura totèmica de *La Caresse d'un oiseau*, del 1967.

Un altre artista vinculat al surrealisme, el polonès Hans Bellmer (1902-1975), dibuixant, fotògraf i escultor traslladat a Berlín, àmpliament conegut per les seves peculiars representacions del cos femení, va realitzar en les seves primeres creacions escultòriques de les anomenades "dolls" (figures quasi de mida natural suportades per estructures de fusta i metall que adquirien forma gràcies al paper maixé o al de seda, a les fibres vegetals i al guix); inquietants, aquestes "nines" podien ser muntades i desmuntades, a la vegada que recombinades, fet que les dotava d'una aparença perturbadora, però la vegada d'un estrany erotisme¹⁵ (Taylor, 2000, pp. 18, 24; Lichtenstein, 2001, p. 4). La complexa i controvertida obra de Bellmer ha suscitat tota mena de lectures que comunament s'han articulat des dels extrems, anant del profeminisme al sexisme i la misogínia (Lichtenstein, 2001, p. 13).

Considerat com art degenerat pel nazisme i a causa de la seva reconeguda oposició al règim, s'exilia a París el 1938 on va ser ben acollit pels surrealistes per l'explícita fantasia sexual de les seves creacions que integren diverses de les qualitats que promouen, essent subversiva, eròtica, sàdica i fetitxista (Bottinelli, 2004, par. 2). Va recrear les nines en diverses versions que com les anteriors, es podien recompondre de forma modular i articular a partir de ròtules. Una d'aquestes obres de formes esfèriques, va rebre precisament el nom de *Ball Joint*, en concret quan va participar

¹⁵ Bellmer plasmava en les seves fotografies els resultats de les múltiples possibilitats constructives que oferien les seves nines.

en l'exposició surrealista de París de 1936. *Ball Joint* o *La Poupée (The Doll)* del 1936, originalment de fusta pintada, va ser posteriorment reproduïda (1965) en alumini fos; l'edició va constar de 9 exemplars, dels quals alguns varen ser pintats, adoptant un aspecte carnal i uns altres van ser polits fins a adquirir un aspecte absolutament diferent, metal·litzat i brillant, semblant al d'un objecte de producció industrial (Alley, 1981, par. 4; Taylor, 2000, pp. 153, 207). Algunes d'aquestes reproduccions se situen damunt d'una peanya de bronze, establint una relació si més no, curiosa, entre els dos materials. Tot i que les seves obres varen ser concebudes inicialment en altres materials, hem cregut oportú situar a Bellmer en aquesta època, ja que la producció originària s'engendra (formalment i conceptualment) coetàniament amb el dadaisme i el surrealisme.

Les seves obres han tingut ressò en artistes posteriors que també han utilitzat nines com Cindy Sherman (n.1954) amb la finalitat de denunciar l'objectualització sexual del cos de la dona o en la producció que varen realitzar més tard artistes que li són contemporanis com Louise Bourgeois (1911-2010), tal com demostren les exposicions que es celebraren el mateix any de la mort de Bourgeois, amb el nom de "Louise Bourgeois and Hans Bellmer – Double Sexus", al Gemeentemuseum d'Holanda o la "Louise Bourgeois / Hans Bellmer" a la Sammlung Scharf-Gerstenberg de Berlín (Sans, 2015, pp. 156, 202; Goldberg, 2010, par. 2).

Una altra avantguarda, el **Neoplasticisme** (1917), que en foren els precursors Piet Mondrian (1872-1944) i Theo Van Doesburg (1883-1931), sorgeix d'Holanda. També conegut pel nom de la revista *De Stijl* (publicada entre 1917 i 1931), rep la influència geometritzant del cubisme, influència que en un procés d'abstracció progressiu, du fins a límit amb l'ortogonalitat de les

línies rectes i l'aplicació de colors plans, convertint aquest moviment, junt amb els de Vassili Kandinski (1866-1944) i el suprematisme de Kasimir Malévich (1879-1935) en precursors de l'"abstracció geomètrica". Aquest corrent aparegué després de la Primera Guerra Mundial (1920) i es caracteritzà per la geometria en les formes i la utilització dels colors primaris i neutres, fet que els permetia eliminar els aspectes superflus de l'obra.

No podem deixar de trobar cert paral·lelisme entre algunes de les obres de Georges Vantongerloo (1886-1965) com és *Construction des rapports des volumes émanant du carré inscrit et le carré circonscrit d'un cercle*, del 1924 i uns antecedents sorprenents en la producció suprematista, els *Architektona*, del 1924 al 1926, del rus Malévich, totes dues construïdes amb elements prismàtics i precursors formalment, que posteriorment desenvoluparà l'arquitectura amb la construcció dels grans edificis aplicant materials industrials brillants i reflectants com l'alumini, el vidre o l'acer (Bill, 2011, pp. 106-115; Gardinetti, 2019).

Una peça curiosa de Vantongerloo, realitzada abans d'unir-se al *De Stijl*, fet que es reflecteix en les seves formes orgàniques és la *Construction within a Sphere* (1917), realitzada amb guix i després pintada de color platejat (MoMA, s.d.), podria haver estat formulada perfectament amb alumini fos ja que l'aparença definitiva sembla voler imitar-lo.

Les avantguardes europees amb els seus plantejaments rupturistes intenten allunyar-se dels sistemes tradicionals de producció escultòrica. En determinats casos, a través de la via constructiva o de la recuperació dels objectes ho aconsegueixen en altres recorren a la fosa de bronze o a altres tècniques, com un recurs necessari. Els artistes vinculats a les avant-

guardes no utilitzen generalment, la fosa d'alumini; el cas de *The Doll* de Bellmer, com ja hem comentat, pertany a reproduccions posteriors (1965) i en el de d'Arp, *Fruit de la lluna* que veurem en l'apartat següent, no deixa de ser una excepció.

1.2.1.3_La fosa. Escultors de les primeres dècades

En el període d'entre guerres i després de la Segona Guerra Mundial, la fosa del bronze va mantenir una vigència notable entre els escultors de l'època; malgrat la connotació històrica que la vincula a la tradició clàssica, aquesta tècnica es va utilitzar en un bon nombre d'obres i especialment en tots aquells espais de caràcter públic o monumental. Ha estat una pràctica paral·lela, emprada, en uns casos, com el recurs que permet consolidar o traslladar les troballes de pintors i escultors d'avantguarda, en altres com un sistema continuista propi de l'escultura; en tots dos casos l'opció predominant és fonamentalment figurativa.

Dans les années quarante et cinquante, le grand sujet de la sculpture sera l'homme, non pas protagoniste héroïque mais victime. Les exemples les plus éloquents, bien que parfois ambivalents, se trouvent dans l'œuvre de Germaine Richier et de l'école anglaise (Armitage, Chadwick, Butler, Paolozzi). Ce sont des images kafkaïennes d'hommes désincarnés, torturés, atomisés et pathétiques. Les formes d'expression abstraite qui subsistent encore attestent cette même perte de foi. (Rowell, 1986d, p. 188)

Hi ha tot un ventall d'escultors de la primera meitat del s. XX; uns vinculats a les avantguardes i altres influenciats per aquestes que van mantenir la

fosa del bronze com un recurs fonamental en la seva producció artística. L'activitat de fosa de bronze ha estat molt ampla en aquesta època i podem esmentar tot un seguit d'artistes europeus rellevants, nascuts entre el terç finals del XIX i principis del XX, com Henri Matisse (1869-1954), Ossip Zadkine (1890-1967), Otto Freundlich (1878-1943), Raymond Duchamp-Villon (1876-1918), Jacob Epstein (1880-1959), Jean Arp (1886-1966), Henry Moore (1898-1986), Barbara Hepworth (1903-1975), Alberto Giacometti (1901-1966), Max Ernst (1891-1976), Henri Etienne-Martin (1913-1995), Alicia Penalba (1913-1982), Marino Marini (1901-1980), Giacomo Manzù (1908-1991), Emilio Greco (1913-1995), a més a més dels esmentats anteriorment i molts altres que també mereixen un lloc preminent. Hi ha algun cas excepcional d'experimentació de la fosa amb altres metalls com el plom (Lipchitz i Moore)¹⁶, l'acer inoxidable brillant (Brancusi) o l'alumini (Epstein, Arp i Hepworth).

En tots aquests exemples, l'activitat de fosa de bronze ha seguit els sistemes de producció tradicional i la fosa d'alumini no apareix documentada o en tot cas, si existeix, deu ser una excepció molt puntual. Les causes de la "marginació" de l'alumini fos no es poden deduir del rebuig pels sistemes tradicionals, ja que empren profusament la fosa de bronze les causes poden estar relacionades amb la manca de tradició social i artística, l'absència de foneries que ofereixin el servei, les prestacions del tipus de metall (duresa, coloracions...) o les significacions associables a aquest material relativament nou, entre d'altres.

¹⁶ Aquest és el cas de *The Meeting* del 1913 i *Sculpture*, del 1915 de l'escultor Jaques Lipchitz (1891-1973) i *Mother and Child*, del 1938 i *Stringed Reclining Figure* i *Reclining Figure*, les dues del 1939, de Henry Moore.

Un referent paradigmàtic d'escultor arrelat als sistemes tradicionals de producció escultòrica el tenim en Constantin Brancusi (1876-1957). Aquest escultor procedeix d'una Romania rural de creences animistes i religió ortodoxa. El 1904 s'instal·la a París i amb cert misticisme, intenta descobrir en el context del seu taller-habitatge-santuari, els aspectes essencials dels temes de la seva escultura. En les seves pròpies paraules: “la medida interna, una verdad última, está contenida en todas las cosas” (Brancusi, com es va citar en Giedon, 1958, p. 203). L'escultor tracta els materials amb cura, cercant en el seu esperit les peculiaritats que li són pròpies.

Brancusi és considerat com un precursor del respecte envers la naturalesa dels materials en l'escultura moderna, encara que no tots els autors van en la mateixa direcció.

El arte de Brancusi no se guía por la ética de los materiales como la que aproximándolo a Henry Moore y Arp, luego le fue atribuida. Como técnico dotado que era, Brancusi explotaba las propiedades naturales de los materiales en que trabajaba. (Krauss, 2002, p. 109)

La seva inclinació a polir determinats materials com la pedra, la fusta, el bronze i l'acer, persegueix aquesta simplicitat de les formes remarcant els aspectes essencials. Krauss (2002) “En el caso de objetos fundidos en bronce, Brancusi los pulía laboriosamente hasta darles el acabado de unas superficies perfectamente reflectantes” (p. 94). L'aspecte daurat i brillant del bronze també té, per Brancusi, un precedent religiós explícit en la tradició oriental de les icones ortodoxes.

El rerefons animista i religiós de la seva cultura d'origen pot tenir relació

amb el propòsit d'aconseguir la transmutació dels materials, una irradiació lluminosa, energètica, procedent del propi nucli.

Hulten [referint-se a l'historiador i director de museus, el suec Pontus Hulten assegura que] “todo se baña en la misma luz”, aunque quiero creer que no se trata de una luz uniforme, abstracta, de otro mundo, sino descompuesta en innumerables reflejos y centelleos. Las piezas metálicas habrían jugado en eso un papel más activo decisivo que las opacas, y de ahí que Brancusi las haya fotografiado en aquellos momentos en los que la luz se reflejaba en su superficie pulimentada. Duthuit [referint-se al crític francès Georges Duthuit] lleva razón al decir que, gracias a esos “bombardeo de reflejos” la materia opaca y sorda se habría vuelto ligera y transparente. (González, 2003, p. 85)

Resulta revelador el conflicte jurídic de Brancusi amb les duanes dels Estats Units en relació amb les seves escultures de bronze polit. Pels duaners, les escultures semblaven peces industrials i per tant estaven subjectes als impostos pertinents. “Brancusi buscó el acabado de los productos industriales fabricados por máquinas... el liso aerodinamismo de una pieza industrial” (Krauss, 2002, p. 109).

L'escultor realitza tot un seguit d'obres amb formes ovoidals, unes relacionades amb els caps i altres amb la forma de l'ou. En aquest darrer cas, *L'origen del món* del 1924, en diferents versions, és un ovoide que recorda un còdol de mar, però ens crida l'atenció les diferents versions en marbre, en bronze polit i en acer inoxidable d'*El nadó* del 1915. És aquesta darrera

versió¹⁷, en acer inoxidable sobre un plat circular del mateix material, tots dos perfectament polits, la que més s'apropa al que podria ser un alumini fos i polit, però no ho és. L'acer reflecteix millor l'energia d'un material poderós al mateix temps que la seva brillantor estable evoca un valor explícit. Aquest aliatge serà un protagonista minoritari de la fosa en aquest període, en contrast amb el bronze, però molt més present que l'alumini fos. Tots dos, l'acer inoxidable i l'alumini, juntament amb altres metalls metal·litzats, amb les brillantors del poliment gris platejat, aniran assolint progressivament una significació de modernitat durant tot el s. XX.

A partire dagli anni Venti saranno moltissimi gli scultori internazionali che, pur non impiegando l'alluminio, produrranno opere in bronzo poi cromato o nichelato, segno evidente che l'aspetto chiaro e "lucido" diverrà una delle principali caratteristiche della specifica modernità alle avanguardie. (Panzetta, 2013, p. 19)

Jean Arp va ser un dels poetes-artistes promotors del "Dadá"; de fet, després de Zuric, amb Max Ernst, estableix un grup dadaïsta a Colònia (1920). Com altres artistes, també forma part del moviment surrealista, cap al 1925, del qual es distancia a principis dels trenta per formar el grup "Abstracció-Creació", on també participen Piet Mondrian, Antoine Pevsner (1884-1962) i Alexander Calder (1898-1976).

Les obres relleus d'Arp desenvolupen el concepte d'obra biomòrfica, procedent de la interacció entre la realitat natural i orgànica i la realitat de

¹⁷ Hans Joachin Albrecht utilitza una imatge d'aquesta obra en la portada del seu llibre "Escultura en el siglo XX" (1981).

l'art. "El llenguatge formal significant recorda conscientment formes de la naturalesa, però la utilització antinaturalista del color fa del relleu un objecte d'art 'concret'" (Schramm, 2001, p. 91)

Els relleus d'Arp evolucionen des de l'etapa dadaïsta fins a la surrealista en un procés simplificador de les formes orgàniques i de l'estructura constructiva en dos únics plans amb formes buides.

Cap al 1930 es comença a dedicar quasi exclusivament a l'escultura a la qual s'entregarà amb continuïtat la resta de la seva trajectòria. Passa dels relleus de paret a la figura exempta sense cap mena de peanya.

En el catàleg "Jean Arp. Invenció de formes", editat per la Fundació Miró de Barcelona el 2002, podem veure una mostra representativa de la seva obra resolta amb tècniques tradicionals, fonamentalment pedra i bronze. Excepcionalment, en aquest catàleg, trobem una peça fosa en duralumini, *Fruit de la lluna* (en fr. *Fruit de la lune*) del 1936, d'unes dimensions que oscil·len entre el metre i el metre i mig, propietat de la Fondazione Marguerite Arp de Locarno¹⁸. A la pàgina oposada es presenta una peça formalment similar, *Escultura fisonòmica* (en fr. *Sculpture physiologique*), també del 1936, en pedra calcària de dimensions molt més reduïdes, al voltant dels trenta i els quaranta centímetres (p. 244).

¹⁸ Tot i les seves preferències pel bronze, en la dècada dels seixanta reproduirà algunes obres més amb aquest aliatge d'alumini, entre les quals es troben *Rueda-oriflama* del 1962, *Aspirant à la quatrième dimension* i *Torse-oiseau* del 1963, *Calmement debout* del 1965 (Fauchereau, 2006, p. 17). També fent ús de l'alumini, però en aquest cas en format laminat, Arp executa a finals dels anys cinquanta, una sèrie de murals de grans dimensions en diferents espais universitaris com són *Siluetas en relieve* del 1956, situat a la Ciutat Universitària de Caracas (Veneçuela) o *Nuvole* del 1959-1960, instal·lat a la Universitat Politècnica de Braunschweig (Alemanya).

Aquesta peça d'alumini fos, amb superfícies perfectament polides, com hem vist anteriorment en Brancusi, segueix les constants de l'escultura biomòrfica, de caire neumàtic, sobre la que Uwe Schramm (2002) en aquest catàleg i en relació amb l'obra escultòrica d'Arp, comenta:

A partir d'una forma plàstica original, que sovint adopta les formes d'un embrió, d'un cap, d'un melic, d'una poncella, d'un nus o d'una ameba, les escultures desenvolupen el seu potencial de significació en l'espai mitjançant elements de formes orgàniques corbades que s'inflen plenes de vida, i que a través de la seva expansió remetent a un centre de força imaginari que es troba en el nucli de l'obra. (p. 96)

Uns anys més tard, David Smith (1906-1965) ens sorprèn amb l'excepcionalitat de *Growing forms* del 1939 i més endavant, amb la de *Head as still life II* del 1942, obres de la primera etapa d'aquest artista nord-americà, foses en alumini i absolutament discordants amb la producció posterior més coneguda de Smith¹⁹.

Aquest escultor estatunidenc recull el plantejament constructiu amb ferro de Julio González amb unes envergadures més pròpies del model sobredimensionat americà. En el seu taller a Bolton Landing (Nova York) instal·la les peces que realitza a partir d'estocs de ferralla, com per exemple *The Banquet* del 1951, generant un paisatge de línies peculiar. Posteriors però de la mateixa dècada i evocant una temàtica més centrada en el cos humà

¹⁹ En el cas de *Head as still life I* del 1940, a diferència de la *Head as still life II* esmentada en el text, és fosa amb ferro i patinada com a bronze.

són les sèries *Tanktotem*, *Agrícola* i *Sentinels*, realitzades en diversos anys (Giménez et al, 1996; Krauss, 1979, pp. 42-47). La seva experiència a Itàlia dona peu als *Voltri*, del 1962 i per altra banda, destaquen les construccions totèmiques amb caixes prismàtiques d'acer brillant, els *Cubis*, que seran les que més es poden aproximar a les aportacions metal·litzades de l'alumini.

Les obres d'alumini fos esmentades de David Smith són unes peces insòlites en la seva trajectòria posterior pel fet d'utilitzar aquest sistema de producció. Per altra banda, són unes peces de formes orgàniques, d'influència surrealista i de petites dimensions si les comparem amb les obres que realitza posteriorment, i amb les que es pot relacionar formalment com ho fa Rosalind Krauss²⁰. Aquestes peces d'alumini fos estan realitzades durant la Segona Guerra Mundial, un període amb carència de materials metàl·lics. Per altra banda, aquestes dues obres són l'única referència que hem trobat en els textos de Krauss (2002), on s'esmenta l'alumini fos.

Per últim destacarem l'aplicació del color en un nombre força ampli d'escultures de Smith, posant l'accent en *Head III (Head as still life)* del 1956, per haver estat realitzada amb fosa, encara que no en alumini sinó en ferro i pintada amb colors vius (grocs i taronges).

Veiem doncs com en les primeres dècades del s. XX, l'aplicació de la fosa d'alumini dins de l'escultura en general i en la pròpia trajectòria dels artistes es força limitada, deixant el seu aspecte natural quan es fa servir.

²⁰ La crítica i teòrica de l'art contrasta les imatges de *Head as still life II* del 1942, fosa amb alumini amb *V-B XXIII* de 1963, construïda amb soldadura a partir de les deixalles de ferro (Krauss, 1996, p. 167).

1.2.1.4_L'escultura en alumini a les arts decoratives i l'arquitectura de les primeres dècades del s. XX

En l'època d'entre guerres, amb el moviment art déco, ressorgiren les anomenades arts decoratives, reprenent la visió estètica que pregonava l'art nouveau d'abans de la Primera Guerra Mundial²¹. En aquell moment, aquests corrents eren encasellats sota el nom de Modernista als Estats Units i Art Modern a França i es centraven en les arts decoratives i industrials (Duncan, 1986, p. 7).

Mentre que l'art nouveau fou adoptat per la burgesia, l'art déco, tot i que pertanyia a la mesocràcia, també se l'apropia la classe popular; per això, com molt bé apunta Skrabec (2017) “while the price of aluminum had decreased dramatically by the 1930s, the metal was still very fashionable with artists and consumers” (p. 157).

L'art déco fixa el seu centre neuràlgic en les arts decoratives i no té una definició prou detallada que sigui vàlida per a tot el que estava produint-se en aquells moments. D'aquest estil en foren devotes totes les arts, no només les decoratives: l'arquitectura, les arts gràfiques, la pintura, la joieria, el cinema²²,... i evidentment l'escultura, però l'estil també compartia aspectes estètics i/o teòrics amb altres tendències artístiques que estaven

21 El 1968, el nom d'“Art Déco” es va popularitzar amb la publicació del llibre “Art Deco Style”, de Bevis Hillier i Stephen Escritt. Aquest terme s'inspira en el nom de l'exposició celebrada a París el 1925: Exposition Internationale des Arts Décoratifs et Industriels Modernes (Duncan, 1986, p. 7).

22 La pel·lícula *Metropolis* (1927) de Fritz Lang n'és un clar referent.

succeint en el mateix moment i amb la peculiar filosofia de l'escola de la Bauhaus (1919-1933) que pregonava la funcionalitat, la qual definia la forma dels seus dissenys i la seva reproductibilitat industrial.

Es podria dir que l'exposició celebrada a París el 1925, sota el nom d'Exposició Internacional de les Arts Decoratives i Indústries Modernes (en fr. *Exposition Internationale des Arts Décoratifs et Industriels Modernes*) agrupava totes les inquietuds que s'havien quedat en *standby* per culpa de la Primera Gran Guerra, i les que començaren a aflorar després del conflicte. El temes a tractar en aquest esdeveniment eren clars: el diàleg entre l'artesania i les noves tecnologies (la idea de progrés); la confluència entre l'estil regional i l'internacional; la discussió per a diferenciar allò modern (Modern Style) de la tradició històrica; entre altres qüestions (Koskova, 2011, pp. 89-91; Tomás, 2014, pp. 192-220).

Aquesta exposició fou un bon aparador per a mostrar el potencial de l'art déco en l'arquitectura, ja que pràcticament tots els pavellons de l'esdeveniment foren construïts sota les seves premisses: formes geomètriques sense o amb escassa ornamentació i materials nous com el formigó armat (Arwas, 1986, pp. 27-49).

En aquest context era coherent pretendre que l'alumini amb el seu gran potencial, formes part dels materials industrials, però també de les arts decoratives. Un exemple clar el trobem en el disseny de mobles que en aquells moments es trobava en una encreuada; per una banda s'enfrontava al seu passat artesanal, on els fabricants de mobles havien centrat els seus dissenys en materials molt concrets i de tradició, com són la fusta i el tèxtil i per una altra amb l'arribada de nous materials que els apropaven

als utilitzats en les produccions industrials. Aquests nous materials, entre els quals es trobava el plàstic i l'alumini, eren uns filons que apropaven als dissenyadors a les exigències de l'art déco, per tant, a la possibilitat de dotar les seves creacions del tan desitjat simbolisme de progrés, de dissenys racionals i de l'aura de modernisme (Edwards, 2001).

Dissenyadors de tot el món s'interessaren per les possibilitats que l'alumini aportava en els camps del mobiliari i la decoració, però molts s'inclinaren per l'alumini semielaborat per motius relacionats amb aspectes pràctics; es comercialitzava en múltiples formes i formats, era fàcil de treballar i el seu pes es reduïa a la mínima expressió amb la utilització de tubs.

En aquest sentit, cal destacar el dissenyador de mobiliari Warren McArthur (1885-1961), pioner en la fabricació de mobiliari en alumini i en l'aplicació de l'anoditzat de protecció i decoratiu en els seus dissenys (The Art Institute of Chicago, 2001, p. 50). McArthur expressava amb aquestes paraules que suposava l'alumini per als joves dissenyadors emprenedors: "Aluminium known to me only as a material for kitchen utensils was beginning to be used in the infant aeronautics industry. Acquisition of a few tubes and sheets of aluminium was exciting for young designers who wanted to design everything and had only a workbench and a spinning lathe" (Arthur, 1960, com es va citar en Edwards, 2001, p. 211).

La Bauhaus, tot i que les seves creacions de mobiliari eren i ho segueixen sent, un referent en aspectes de funcionalitat, així com els complements i l'utilitatge per a la casa on el pes del producte era un aspecte a tenir en

compte²³. El metall més utilitzat era l'acer inoxidable i l'acer cromat o lacat, mentre que l'alumini no va introduir-se per a formar part o per a substituir l'acer dels seus dissenys, comunament per ajustar-los a la producció en massa, fins uns anys després de la seva etapa alemanya²⁴. On si va estar present va ser en allò relacionat amb els aspectes més teatrals; en les disfresses de les creatives festes que s'organitzaven a l'escola (The Metal Partys), en formats variats (paper d'alumini, olles i paelles) i en el vestuari creat per al famós Ballet Triàdic d'Oskar Schlemmer (1888-1943) en el qual, en alguns dissenys, se substituïa l'alumini per cartó pedra pintat amb pintura metàl·lica (Birringer, 2013, p. 39; Schlemmer, 1971, p. 34). Mitjançant el vestuari per a les accions teatrals, Schlemmer promulgava la idea de la Bauhaus de conjugar l'art i la tecnologia, així com l'ésser humà i la màquina (Uçar i Uğurlar, 2019, p. 22).

Tot i que l'art déco centrava el seu potencial creatiu en l'arquitectura i el mobiliari, també es tenia en compte aquella producció escultòrica que era essencial per a complementar la decoració.

La Radio City Music Hall (Nova York) encarrega, abans de la seva inau-

23 Marcel Lajos Breuer (1902-1981), el 1925, inventa els mobles elaborats amb tubs metàl·lics, reduint significativament el seu pes (Argan, 1998, p. 262).

24 "A finales de los años 40, en EEUU hay una búsqueda del Good Design (buen diseño) como alternativa al Styling de la época, hasta los años 50 y 60." (Martín, 2017, p. 57). Alguns exemples de produccions posteriors amb alumini són: la *Aluminium Chair* (*Aluminium Group*), dissenyada per Charles i Ray Eames, el 1958, inicialment projectada com a mobiliari de jardí (Vitri, s.d.-a); i la *Eames Plastic Chairs*, del 1950, obra dels mateixos dissenyadors, que, sota la consigna "conseguir más de lo mejor para más gente y por menos" (Eames, C i Eames, R., com es va citar en Vitra, s.d.-b), consta d'un seient fabricat en sèrie de resina de polièster amb fibra de vidre (abans d'arribar a produir-lo amb aquest material varen fer provatures, sense èxit, amb contraxapat i xapa d'alumini) a la qual se li pot incorporar, entre altres materials a triar, una carcassa d'alumini (Vitri, s.d.-b).

guració el 1932, tres escultures d'alumini per a decorar les seves instal·lacions. La que porta per nom *Eve* la realitzà la jove escultora Gwen Lux (1908-1986), mentre que les altres dues, *The Dancing Girl* i *The Goose Girl*, pels ja en aquells moments escultors reconeguts William Zorach (1887-1966) i Robert Laurent respectivament (Landmarks Preservation Commission, 1978, pp. 12, 14-15; Rockefeller Center, 1930, The Radio City Music Hall, par. 11-12).

A la mateixa ciutat, Nova York, en la torre de l'edifici del Times Square Building de Rochester, del qual se'n va finalitzar la construcció el 1930, es van instal·lar, i encara i llueixen, quatre imponents ales de 13 metres i 5.400 kg cada una, realitzades amb estructura d'acer revestida amb làmines d'alumini; l'escultura, anomenada *The Wings of Progress*, fou ideada pel mateix arquitecte encarregat del disseny de l'edifici, Ralph T. Walker (1889-1973) i s'instal·là el mateix any en què es finalitzaren les obres de l'edifici, un any després de la caiguda de la Borsa de Nova York (Crac del 29) (Skrabec, 2017, pp. 163-164). El disseny d'aquestes ales pretenia rebatre la imatge estàtica, densa i rotunda de l'edifici, amb quelcom més aventurer i relacionat amb el vol. Aquí es reprèn la idea de progrés, implícita en el seu títol, amb la metàfora de la projecció ascendent de les aus que no podem deixar de relacionar amb l'impuls suggerit amb les obres d'ocells de Brancusi.

A Chicago, John Bradley Storrs (1885-1956), el 1929, realitza l'escultura monumental de quasi 9,5 metres d'altura, anomenada *Ceres*, nom de la deessa romana dels cereals, en alumini fos. Aquesta fou projectada tenint en compte la seva ubicació en el sostre de l'edifici de la Chicago Board of Trade Building, combinant l'escultura neoclàssica amb la moderna ar-

quitectura del moment (Dinin, 1987, p.60). D'aquesta manera Storrs “was applying one of the basic principles of Art Deco design—the unification of all form into a continuous, flowing totality” (Frackman, 1986, p. 77).

A Washington, més centrades en el que seria el Streamline²⁵, les escultures *The Spirit of Justice* i *The Majesty of Justice*, ideades per Carl Paul Jennewein (1890-1978) i portades a terme entre el 1932 i el 1934, s'ubiquen en una de les sales de l'edifici del Departament de Justícia dels Estats Units²⁶. Aquestes obres encarnen la figura humana poderosa; amb el tors nu, els homes i les dones representades volen simbolitzar la força de les figures mitològiques, però també la dels robustos obrers i atletes, incidint també en l'emancipació de la dona del segle XX. Aquestes dues escultures d'alumini es presenten en un acabat semibrillant que els hi dona un aspecte plomis.

Amb el mateix propòsit, el de complementar l'arquitectura, trobem altres exemples realitzats en alumini com són l'escultura *Irish Mountain Goat*, realitzada entre 1932 i 1933, de John B. Flannagan (1895-1942), representació d'una cabra que combina el cos de granit amb les banyes d'alumini fos de 140 cm cada una; i la *Venus Bringing the Arts to Manhattan* del 1940,

25 Línia estètica dins de l'Art Déco que predomina durant la dècada dels anys trenta, després del Crac del 29, als Estats Units; aquesta es basava en línies corbes compaginades amb llargues línies horitzontals.

26 Les escultures de Jennewein, tot i el seu al cost, no varen ser els únics elements d'alumini de l'edifici:

Aluminum was used unsparingly; the 20 foot high doors at all entrances; the geometrically detailed elevator doors of the 23 passenger and 2 private elevators; all of the interior stair railings; the framing for 1,908 windows; the 10,696 light fixtures; the fountain in the Great Court; the chair railings, picture moulding and door trim for each office; elaborate ornamentation for many entrances. (Vasaio, 1984, p. 17)

de Wheeler Williams (1897-1972), instal·lada a la façana de l'antic edifici de la famosa casa de subhastes especialitzada en obres d'art, Sotheby's, situada a l'avinguda Madison de Nova York; encara que aquesta última fou realitzada uns anys més tard del que va ser l'Art Déco manté els mateixos valors estètics (Duncan, 1986, pp. 219, 228-229, 232; Robbins, 1976, p. 131).

Les monumentals escultures d'alumini contrastaven amb la Gran Depressió que s'estava vivint als Estats Units en aquells moments i les mesures de recuperació adoptades pel president Franklin D. Roosevelt (1882-1945), el New Deal.

L'Exposició de París de 1937, dedicada a l'Art i la Tecnologia en la Vida Moderna (en fr. *Exposition Internationale des Arts et des Techniques appliqués à la Vie Moderne*), fou un esplèndid aparador per a l'alumini, on si podien trobar peces decoratives i de caràcter industrial ja que com hem dit, l'Art Déco estava en plena efervescència; però també si mostrà el progrés que havia sofert l'alumini en les últimes dècades o la rivalitat pel control de la seva producció, atès que aquesta estava superant a la de l'acer, símbol de poder i tecnologia industrial i militar²⁷. La medalla que s'atorgà als guardonats en l'Exposició, encunyada en aquest metall, posa de relleu la importància simbòlica que anava prenent en aquells moments l'alumini (Skrabec, 2017, p. 157).

En relació amb l'alumini, l'arquitectura fou la reina de l'exposició. L'arqui-

tectura americana i l'art Déco van ser doncs, una altra de les baules que mantindria la fosa de l'alumini vinculada a l'escultura en la primera meitat del segle vint.

27 Cal tenir en compte que Alemanya estava immersa en un procés ideològic i industrial que pretenia evidenciar la seva suposada supremacia a escala internacional.

1.2.2_L'escultura en alumini a les generacions de la postguerra

La Dra. Lourdes Cirlot (1993) comenta, basant-se en la tradició de la historiografia de l'art, que l'etapa compresa entre mitjans dels anys quaranta, en el context de la Segona Guerra Mundial, fins a finals dels seixanta, es denomina "segones avantguardes" (p. 8). Aquest període es caracteritza per la diversitat, fomentada per la immediatesa informativa de corrents artístics:

Durante este período, llama sobre todo la atención el hecho de que existan tantas y diversas opciones dentro del mundo artístico. La aceleración con la que se generan nuevas tendencias y movimientos artísticos aumenta a medida que transcurren los años... El fenómeno de acción y reacción se ha acelerado de tal manera en los últimos tiempos que antes de que una determinada corriente artística haya llegado a su punto culminante ya existe otra que comienza a plantearse y que, de manera muy compleja, no sólo reúne en su seno aspectos antagónicos a la anterior, sino que, al mismo tiempo, hace referencia a ciertos aspectos de aquella. Esto se debe, sin lugar a dudas, a la gran cantidad de información que se tiene hoy en día, obtenida por los medios de comunicación, en especial a través de la televisión. Las imágenes de las obras de una exposición viajan con tal rapidez por los distintos continentes que los artistas ven i asumen de un día para otro actitudes que son realmente muy distintas. (Cirlot, 1993, p. 10)

1.2.2.1_Els cinquanta

Acabada la Segona Guerra Mundial, amb la derrota del nazisme, del feixisme i de l'imperialisme japonès, el món enceta una nova etapa amb la polarització de dos blocs liderats per dues potències, l'URSS i els Estats Units. S'impulsa un procés de consolidació de les àrees d'influència de cada un dels blocs i de reconstrucció europea que sota la influència de cada una de les dues potències acabarà donant peu a la denominada Guerra Freda.

La població de postguerra d'occident viu moments de conflicte en la polarització geoestratègica dels blocs i en aquest context, es desenvolupen els esdeveniments i algunes de les manifestacions culturals més representatives del moment.

A conseqüència de la 2a Guerra Mundial, a nivell artístic, els focus europeus de lideratge artístic es traslladen en part, als Estats Units que els adopta i absorbeix amb diligència; es desplaça el centre neuràlgic de París a Nova York. El nou art dels cinquanta es converteix en emblema de l'art americà i dels valors de la democràcia en el context capitalista del moment (de la Peña, 2008, pp. 184-184).

A principis dels anys 50, promogut pels crítics d'art Harold Rosenberg (1906-1978) i Clement Greenberg (1909-1994) secundat per les col·leccionistes i mecenes d'art Peggy Guggenheim (1898-1979) i Betty Parson (1900-1982), el marxant d'art Samuel M. Kootz (1898-1982) i les seves corresponents galeries, es desenvolupa l'Expressionisme Abstracte o Ac-

tion Painting²⁸ (Sandler, 2009, pp. 197, 200, 202, 232). La influència surrealista, en part per l'acció dels exiliats, va alliberar aquests artistes dels dogmes acadèmics i els va permetre descobrir l'estimulant llibertat de la creació espontània, subjectiva o inconscient. La pintura d'acció fixà el protagonisme en el procés pictòric, el traç i el gest dinàmic i deixà de banda la representació del model. L'accident i l'atzar organitza la distribució de taques i línies (Rosenberg, 1952).

La incidència en l'escultura d'aquest moviment, fonamentalment pictòric, és limitada; David Smith amb les seves construccions va actuar com l'element pont per a les dècades posteriors a través de l'anglès Anthony Caro (1924-2013) i les potencials repercussions minimalistes.

El mateix Rosenberg, en aquest període, impulsà i promogué altres modalitats artístiques, entre les quals es troben les intervencions amb el cos d'artistes joves del moment com Yves Klein (1928-1962), el grup japonès Gutaï i els happenings de Nova York.

A Europa es van mantenir, durant aquesta dècada, alguns focus d'interès artístic que evolucionaren amb la recuperació demogràfica i econòmica, el distanciament temporal i vivencial de les noves generacions respecte a la Segona Guerra Mundial, la complexitat històrica de la cultura europea, els moviments juvenils de protesta, etc., cap a obres generalment ben di-

²⁸ Terme encunyat per Rosenberg en el seu llibre "The American Action Painters" (1952), per a definir els pintors de l'expressionisme abstracte, concretament als que s'associaven a l'"art gestual".

Alguns dels pintors que en varen formar part són: Jackson Pollock, Willem de Kooning, Mark Rothko, Franz Kline, Barnett Newman, Mark Tobey, Robert Motherwell, Jasper Johns, Roy Lichtenstein, Arshile Gorky, Franz Stella i Cy Twombly, entre d'altres.

ferenciades de les americanes.

Tot un conjunt de moviments amb noms com Abstracció Sígnica-Lírica, Tachisme, Informalisme Art Autre, Art Brut, Art Espontani o Neofiguració, van agrupar diferents artistes. L'Estat espanyol, encara en plena dictadura, inicià un recorregut molt interessant amb pintors com Antoni Tàpies (1923-2012) i escultors rellevants com Jorge de Oteiza i Eduardo Chillida (1924-2002), entre altres.

D'aquesta dècada en destacarem certs escultors que d'alguna manera van incorporar l'alumini en les seves creacions, en primer lloc els de fosa i a continuació els relacionats amb la construcció.

Jorge Oteiza

Sols en el cas de Jorge de Oteiza (1908-2003) hem localitzat algunes escultures de les primeres etapes, fonamentalment datades entre el 1949 i el 1952, realitzades amb foses de metalls tous com el plom, el zenc i l'alumini, així com d'altres semblants, foses amb bronze o llautó. Són peces on es pot apreciar la influència formal de l'escultura anglesa (Henry Moore) que donen pas al progressiu procés del "Propòsit Experimental" i la conclusió "0" de l'obra d'Oteiza dels cinquanta. Part d'aquestes obres estan foses amb zenc: *Mujeres murmurando*, *Arrijasotzaile con la piedra cilíndrica* i *Imagen de España conquistadora (que va de culo)*, totes tres del 1949, *Figuras* i *Sant Sebastià*, del 1950 i *Adán y Eva*, del 1952. Sobre aquesta darrera, en el catàleg "Oteiza, Propósito Experimental", exposició realitzada el 1988 i comissariada per l'escultor Txomin Badiola, s'especifica: fosa amb ferralla de zenc. *Unidad triple y liviana*, del

1950, també fosa amb zenc, s'inscriu en els nous plantejaments de la seva obra dels anys cinquanta. Una obra fosa de plom és *Mujer con niño en las rodillas*, del 1950 (Badiola, 1988, p. 84).

Mujer con niño mirando con temor al cielo, del 1949, relacionable amb els esdeveniments del bombardeig de Guernica a la Guerra Civil Espanyola, com d'altres obres de petit format de l'escultor, va ser fosa en alumini. Les obres amb alumini fos, com les anteriors, participen d'un procés previ de modelatge, amb el que la pressió dels dits genera múltiples espais buits o perforacions sobre la matèria plàstica.

En gran format i fosa en aquest metall, trobem l'escultura de *Santo Domingo*, del 1953, situada sobre el llenç corbat de pedra de l'absis de l'església del Colegio Apostólico de los Padres Dominicos de Valladolid, dissenyada per l'arquitecte, urbanista i pintor, Miguel Fisac (1913-2006) (Villalobos i Pérez, 2014, p. 460).

Un altre cas de fosa d'alumini, temporalment distant, és el *Estudio para la Piedad de Aránzazu*, del 1969, de la que hi ha diferents versions de fosa, una d'elles en alumini, on s'aprecia una mare implorant davant del cadàver del seu fill abatut, possiblement inscrita dins del marc del conflicte basc. Un d'aquests estudis també va ser utilitzar anys més tard, el 1999, per a realitzar *La Piedad*, materialitzada en alumini amb l'ajuda de l'escultor José Ramón Anda (n.1949) i instal·lada a la façana de l'Església de San Vicente (San Sebastián - Donostia).

Aquestes obres d'Oteiza realitzades amb metalls tous, entre ells l'alumini de fosa, sent abundants en aquesta època són l'excepció, predomi-

nant les foses de bronze. Encara són més excepcionals si considerem el desenvolupament conceptual i material de les obres posteriors del laboratori experimental amb les caixes buides o de conclusió, de caràcter constructiu, resoltes amb planxes d'acer industrial.

Jacob Epstein

L'obra més emblemàtica d'aquest escultor americà, Jacob Epstein (1880-1959) resident a Anglaterra, és *The Rock Drill*, del 1914. La figura d'un robot enfilat sobre un trepant, d'influència cubista, futurista i pot ser també dadaïsta, és una obra cabdal en l'escultura del s. XX. La polèmica ha perseguit les obres inicials d'Epstein per la seva força i naturalisme explícit.

La seva obra més extensa és la centrada en retrats en fosa de bronze de personalitats com el d'Albert Einstein, del 1933, i de persones pròximes a ell, com *Katheleen*, del 1921, on caracteritza a la seva segona dona o *Ester Garman*, del 1944, retrat d'una de les seves filles. Tanmateix també realitzà altres obres d'art sacre de reconegut prestigi per a temples emplaçats a Anglaterra, fonamentalment en bronze, com *St Michael's Victory over the Devil*, del 1958, a la catedral de Coventry o el *Christ in Majesty*, del 1954, de fosa d'alumini i de grans dimensions, situat sobre un fons de formigó en la reconstruïda catedral de Llandaff (Steyn, 2005; Auckland City Art Gallery, 1961).

El *Christ in Majesty* va ser un encàrrec de l'arquitecte George Pace, responsable de la restauració de la catedral, amb la finalitat de decorar l'orgue cilíndric del santuari. Silber (1986) explica la decisió presa per

l'escultor i l'arquitecte, en relació amb l'elecció del material per a dur a terme l'escultura:

Although it was originally intended to be in gilded plaster, in the end they both agreed that the sculpture should be cast in aluminum, which would be lighter on the structure of the giant arch supporting the cylinder and possessed "far greater durability, and would also have the soft silvery colour", which was in better accord with the building. (Epstein, com es va citar en Gilboa, 2016, p. 12)

José de Rivera

L'escultor nord-americà José de Rivera (1904-1985) que produí obra abstracta a partir de la dècada dels trenta és considerat com expressi-onista abstracte. Creà estructures senzilles i estilitzades de metall polit. Explorà el tema de la cinta de Möebius, motiu present en altres artistes com Max Bill (1908-1994), dotant-les de mobilitat i variacions espacials. Treballà materials com l'acer inoxidable o plaques d'alumini. *Black Yellow Red* del 1942, recorda les ales doblegades d'un molinet, està realitzada amb làmina d'alumini i pintada dels tres colors referits en el títol.

Ellsworth Kelly

L'artista nord-americà, pintor i escultor, Ellsworth Kelly (1923-2015) residí des de 1970 fins gairebé al final de la seva vida a la zona rural de Spencer (Massachusetts).

Aquest artista té un paper destacat en l'art americà en actuar de pont als cinquanta entre l'abstracció geomètrica americana de les dècades ante-

riors i els minimalistes, de les posteriors. La seva formació contempla un aspecte anecdòtic, ja que durant la Segona Guerra Mundial participà en el denominat “exèrcit fantasma” (The 603rd Engineers Camouflage Battalion) que imità amb inflables i material de camuflatge, armament militar que va permetre enganyar en diverses ocasions a l'exèrcit alemany; aquesta experiència li va servir com entrenament per a l'art (Goossen, 1973, pp. 13-14). Al finalitzar la guerra, cap a principis dels 50, es forma en centres d'art de Boston i de París, on va conèixer els grans artistes de l'època que l'influïren en la seva obra dedicada a l'abstracció. El 1954 tornà als Estats Units i poc després realitzà les primeres exposicions. En aquesta època la seva pintura destaca per les formes i colors plans, de vegades amb formats poc convencionals com les pintures “multipanel”, són plafons monocromàtics de colors vius que va continuar explorant durant diverses dècades.

Kelly, més conegut per les seves pintures, va tenir una ampla dedicació a l'escultura. En aquest àmbit adaptà les superfícies planes d'alumini a l'espai i va seguir la dinàmica d'utilitzar el color, com és el cas de *Sculpture for a Large Wall*, del 1957, escultura de grans dimensions concebuda per a l'estació de transports de Filadèlfia i instal·lada fins al 1997 en aquest emplaçament on el color va ser aplicat mitjançant l'anoditzat de l'alumini (Rimanelli, 1998, p. 46).

The aesthetic of this piece rests entirely in the choice of anodized aluminum to provide the luminous color that could be seen from the street. Anodizing allowed for deposition of a thin, bright, even, coat of color that remained transparent on the aluminum surface. Used regularly by this time for coloring household objects and treating

architectural aluminum,³ this was the first time the process was used on such a scale for artistic production in the United States. (Lowinger, 2019, p. 114)

Als setanta va seguir projectant obres de gran escala per a exteriors amb acer, bronze i alumini, on jugà amb la frontalitat i verticalitat del pla i amb la capacitat d'aquest de transformar-se en objecte tridimensional a partir d'un plec.

La rotunda simplicitat de la seva obra i la reivindicació de la literalitat de l'objecte el vinculà al minimalisme.

Observem la seva trajectòria minimalista en *Whit Angle*, del 1966, peça que deriva d'un full de paper doblegat per la meitat; a partir d'aquí la va compondre amb dos llenços pintats formant un díedre. Finalment realitzà la peça en alumini pintat de blanc a escala humana. *Blue Disk*, del 1963, una forma plana arrodonida d'alumini pintat amb blau n'és un altre exemple.

Stephen Gilbert

L'escultor escocès Stephen Gilbert (1910-2007), net d'Alfred Gilbert, autor d'una de les primeres escultures en alumini, *l'Àngel de la Caritat Cristiana* situat a Piccadilly Circus, Londres. Es formà a Londres i París entre finals dels 20 i principis dels 30. En acabar la Segona Guerra Mundial s'instal·là a París on va establir el seu taller i, l'any 1948, es vinculà al

grup Cobra²⁹; col·lectiu que desapareix tres anys després, el 1951. Tot seguit, es relacionà amb el grup de constructivistes britànics i mantingué una trajectòria internacional reconeguda.

En escultura va executar obres de caràcter constructiu amb làmines d'alumini, flexibles, corbades al voltant d'un nucli central. Estructures espacials, en un principi anoditzades i pintades i posteriorment brillants i reflectants, a causa de la voluntat d'expressar la negació de la massa, objectiu que no aconseguia amb els acabats en color (Rodgers, 1967, p. 534). Un dels primers exemples en són *Structure 6*, del 1959, i *Structure 14c*, del 1961.

En paraules del mateix Gilbert:

Developed a free-standing type of structure in curved radiating planes, using at first anodized metallic surfaces in colour; later uncoloured and highly polished ones. In the latter, the curvilinear forms develop in reflecting surfaces, which also pick up ambient colour and light. This changing colour and light, by its fluidity and movement, cut across by shadows, partially masks and sometimes completely transforms the original structural elements. An extremely mobile and complex system of tonalities is built up from reflections, in the composition of which elements of colour and light are brought forward, which escape control and appear disassociated. These visual metamorphoses of the material structure multiply to

²⁹ Moviment que pren el nom de l'acrònim que formen les primeres lletres de les ciutats de Copenhaguen, Brussel·les i Amsterdam (CoBrA). Posteriorment en l'apartat dedicat al color dels vuitanta veurem un altre componen, Carel Appel.

infinity the means of describing space. (Gilbert, citat en Chamot, Farr i Butlin, 1964, tal com es va cita en Tate, s.d., par. 3)

1.2.2.2_Els seixanta

Els anys seixanta van ser anys de crisi política i de violència social i bèl·lica en el context de la Guerra Freda, encara que les millores econòmiques i socials es van fer evidents³⁰. Els artistes vinculats a aquesta generació van viure un ambient ideològicament crispant i van reaccionar amb actituds diverses que inclouen el qüestionament de l'establishment artístic (artistes reconeguts, galeries, crítics, museus, etc.). Malgrat tot, amb la seva activitat artística no van mantenir una postura contestatària intransigent, en tot cas van adoptar una postura políticament crítica i en general, la plasticitat del sistema els va absorbir reconeixent-los. Des d'un principi van fer-los-hi costat personalitats claus del món de l'art.

³⁰ El creixement demogràfic d'aquesta dècada no té precedents, el Baby boom. El desenvolupament dels països industrialitzats occidentals comporta determinats beneficis socials, en detriment dels denominats perifèrics. Els seixanta ens arriba amb la televisió en blanc i negre, plena de conflictes internacionals i de manifestacions ciutadanes. La confrontació entre els EUA i l'URSS, amb la crisi dels míssils de Cuba situa al món davant d'un conflicte nuclear de conseqüències previsibles. La Guerra de Vietnam, la invasió de les tropes soviètiques de Txecoslovàquia, la Primavera de Praga, el Maig del 68. Revoltes estudiantils i sindicals que des de França s'estenen per altres països. Els conflictes racials amb el lideratge de Martin Luther King, Nobel de la Pau, enceten una campanya de desobediència civil a favor dels drets civils. La marxa pacífica de Selma n'és un exponent; el seu assassinat al 68, també. L'arribada de l'home a la Lluna es converteix en el símbol de la potència econòmica i militar.

La necessitat de modificar la situació política d'aquesta dècada promou els moviments de protesta contra la Guerra de Vietnam o la invasió de les tropes soviètiques de Txecoslovàquia. Les revoltes del Maig del 68 i la lluita contra el racisme nord-americà són tan representatives d'aquesta època com la generació beat, el moviment hippy i la instauració de la música rock, entre altres exemples de les manifestacions culturals del moment.

Una bona part dels escultors esmentats de la primera meitat del s. XX van continuar actius en les activitats de fosa de bronze com a sistema de producció de la seva obra. A les figures més representatives esmentades anteriorment se'n van afegir de noves.

Exemples d'escultors de generacions precedents que treballaven la fosa, generalment en bronze i excepcionalment la fosa d'alumini, els tenim en els anglesos Jacob Epstein, Barbara Hepworth (1903-1975) i Ralph Brown (1928-2013). Una mica posterior, també en fosa d'alumini, el català Josep M. Subirachs (1927-2014). Un cas a banda, l'americà Reuben Nakian (1897-1986), d'una generació intermèdia, també solia fondre amb bronze; malgrat tot, en aquest cas, l'aportació en alumini no és de fosa sinó que és en format de planxa.

Barbara Hepworth

L'escultora anglesa Barbara Hepworth (1903-1975) és una de les personalitats més rellevants de l'escultura anglesa de principis de segle XX. L'obra de Hepworth es caracteritza per l'abstracció de volums arrodonits amb superfícies polides predominantment, encara que de vegades texturades, i la integració d'espais buits o perforats a l'interior de les peces.

Utilitzà materials tradicionals (fusta, pedra i bronze) i en la seva trajectòria, l'alumini fos és una excepció. L'escultura, *Winged Figure*, del 1961 al 1962, confirma aquesta excepcionalitat. El projecte va sorgir amb l'ampliació d'una peça anterior de petites dimensions, *Winged Figure I*, del 1957, feta amb xapa d'alumini. A partir d'aquesta, diguem-ne maqueta, va realitzar un prototip a escala real, també amb alumini, abans d'erigir

la definitiva (The Hepworth Wakefield, s.d., par. 2).

La peça final la va construir a partir d'una gran estructura de llistons de fusta, tensats amb un seguit de cables que mantenien la seva flexió i concavitat. El recobriment posterior d'aquesta estructura va donar-li forma a l'obra definitiva, on es va mantenir el record dels tensors que travessen la forma còncava per davant, amb barres d'acer. L'obra, fosa amb alumini i complementada amb les barres d'acer inoxidable de format monumental, mesura uns 5,8 metres d'alçada i està instal·lada sobre un gran llenç, la façana de l'edifici racionalista de finals dels anys cinquanta dels grans magatzems John Lewis a Òxford Street (Londres).

Herbert Read (2015) en el llibre "Barbara Hepworth: Carvings and Drawings" inclou les impressions de l'artista a propòsit de l'emplaçament de la peça:

The greatest variety of light and shadow, from morning sun, afternoon reflected light and night floodlighting, so that visually the sculpture never remained static. The use of the apertures and stainless steel rods enabled me to get a constant 'variation' of the 'Winged Figure' by ever changing light and shade.

The slant of this great wall, tipped slightly towards Oxford Street and Marble Arch was a great help to me. It allowed my imagination to develop freely my idea of the forms of air, wind, sea and space of Cornwall (where I live) and let this sculpture alight in Oxford Street where it still looks free enough to fly straight up to Marble Arch and home again! (Hepworth, com es va citar en Tancock, 2019, p. 35)

Ralph Brown

L'escultor anglès Ralph Brown (1928-2013) va reeixir a Anglaterra amb les seves figuracions als anys cinquanta. Pertany al grup d'artistes de Yorkshire, format per Moore, Hepworth, Armitage i Fullard. En un viatge a París va conèixer l'obra de Rodin i altres escultors com Zadkine, Richier, Giacometti. Posteriorment, en una altra estada, aquest cop a Itàlia, s'interessà per l'obra de Marino Marini i Manzù, tots ells vinculats a l'escultura fosa fonamentalment en bronze, amb un component formalista o figuratiu. La seva obra més coneguda *Meat Porters*, de finals dels cinquanta, entre el 1959 i el 1961, és un monument dedicat als treballadors del mercat de Harlow (Essex - Anglaterra), realitzat precisament en fosa de bronze (Legrove, 2016, pp. 5-11; Whiteley, 2009, pp. 7-9).

Del 1962 és *Female Head*, escultura de petit format en fosa d'alumini que s'emmarca en una temàtica compartida per altres artistes coetanis en l'afany d'utilitzar el cap com a símbol de la raó i la imaginació.

Brown's 'heads' might be read as phallic and yet their forms are often neither male nor female. Indeed, they bring together the fist, the head, the penis and the female vulva: their androgynous allusions suggest a combination of genders. Besides the tumultuous forms, his heads and reliefs evoke the fluidity of flesh, skin sliding against skin.

Evoke the full gamut of human experience: his work reminds us that we are not merely social entities but we are also emotional and sexual creatures. It enables us to celebrate the physicality of our own bodies with all their erotic energies and desires. (Whiteley,

2009, p. 10)

De l'obra *Female Head* en va fondre diversos exemplars, alguns en bronze i dos en alumini, mantenint el to natural del metall i polint les parts arrodonides més protuberants.

Subirachs

A la Barcelona de finals dels seixanta trobem un exemple d'art públic on s'aplica l'alumini fos. Josep Maria Subirachs (1927-2014), escultor de llarga trajectòria consolidada internacionalment, utilitzà materials tradicionals, habitualment pedra i bronze, en l'emblemàtica porta que comunica el Palau Reial (anteriorment Palau del Virrei) amb el Saló del Tinell, dedicada a Sant Jordi, del 1975 o les portes de la Basílica de la Sagrada Família, del 2015. Aquí participa amb altres escultures de pedra i de vegades, amb altres que no ho són, com el formigó i la fosa d'alumini.

El Novíssim de la plaça Sant Miquel és una ampliació de l'Ajuntament de Barcelona construïda entre 1958 i 1969, disposa d'un fris dut a terme per Subirach el 1966, fet amb formigó i d'una obra, també mural de la mateixa data, situada en la façana de vidre, fosa a la foneria Ginfer de Reus (Catalunya) en alumini posteriorment ennegrit. Aquest mural consta de 210 relleus independents, de 185 per 125 cm, que reproduïxen dotze variacions formals de l'escut de l'Ajuntament. L'autor va deixar imprès en una placa de fosa en alumini, els noms de l'alcalde del moment, Porcioles, impulsor de l'etapa de desenvolupament de la Barcelona dels seixanta, els dels arquitectes de l'edifici i el de la foneria esmentada.

Reuben Nakian

Una altra obra en alumini, en aquest cas amb planxes, és la de l'artista nord-americà, força matèric que pertany a les generacions de principis de segle, Reuben Nakian (1897-1986). La producció més rellevant d'aquest artista és figurativa i es realitzà en fosa de bronze, tot i que també va fer servir la terracota per a plasmar les seves escultures. El 1961, quan guanyà el concurs per a decorar la façana del Loeb Student Center de Washington, edifici en el qual tenia l'artista l'estudi, seleccionà l'alumini i l'acer de planxes corbades (Museum of Modern Art [MOMA], 1966, p.44).

Aquesta obra anomenada posteriorment *Birds in Flight*, recordava, arran de la curvatura de les planxes d'alumini i la seva intencionada aleatorietat i direccionalitat, l'anar i tornar dels coloms i el moviment de les fulles quan es regolfen amb l'acció del vent a la Washington Square. L'obra fou desmantellada quan el 1999 s'enderrocà l'edifici (Harris, 2003, p. 260).

En una entrevista, Nakian donà la seva opinió sobre el fet d'emprar diversos materials en la creació escultòrica:

If you're working in clay, you have to know how to handle clay. If you're working with plaster, how to handle plaster. Working with steel, how to handle steel. You have to know your material. And that's the whole secret. If you comprehend your material, it works for itself. (Nakian, com es va citar en Berman, 1981)

Anthony Caro

L'escultor anglès Antony Caro (1924-2013), de jove, va ser ajudant de Henry Moore. Posteriorment, a partir d'una estada als Estats Units, influït pels treballs de David Smith i dels expressionistes abstractes americans, engegà un seguit de treballs d'índole abstracte i constructiu, al marge de les propostes del minimal o cinètiques. Va utilitzar seccions de metalls industrials, deixalles metàl·liques, fonamentalment d'acer i fins i tot l'estoc de Smith quan aquest va morir, en composicions que es debaten entre la frontalitat i la profunditat del pla i el volum arquitectònic, entre la verticalitat i l'horitzontalitat, entre grandàries industrials i objectes de taula (Carandente, 1999, pp. 21-38).

Ocasionalment, també va fer servir planxes d'alumini i de vegades barrejava materials, com l'alumini i l'acer en *Early One Morning*, del 1962; la pintura aplicada sobre el metall n'eliminà la seva entitat metàl·lica, unificant la percepció estructural del conjunt. *Month of May*, del 1963, o *Wide*, del 1964, són altres exemples de les escultures que Caro va realitzar amb diferents formats d'alumini (tubs quadrats i redons, planxes, etc.) i que va pintar de colors variats com el borgonya o el verd (Caro, s/d).

Kenneth Snelson

Snelson (n.1927) utilitza tubs industrials d'alumini, en aquest cas anoditzats, en la seva obra *Needle Tower*, del 1968, ubicada a Washington, al Hirschhorn Museum and Sculpture Gallery i una altra versió de la mateixa obra, del 1969, al poble d'Otterlo, Països Baixos, concretament al

museu Kröller-Müller (Ward, 2008, p. 9). Aquesta darrera mesura 30 m d'alçada i 6 x 6 m de base; és una estructura flexible construïda amb el “sistema tensegrity”³¹.

Altres peces es troben al Carnegie Institute de Pittsburgh i al Storm King Art Center de Mountainville de Nova York. De fet es poden veure escultures de Snelson en parcs i places des d'Alemanya fins al Japó. També realitza petites escultures amb aquest sistema amb tubs d'acer o alumini. El 1948 va estudiar al Black Mountain College de Carolina del Nord, tenint de professor a l'arquitecte Buckminster-Fuller, on va idear els primers models que funcionaven amb el sistema de tensió i compressió. Fuller va recollir els plantejaments del seu alumne i amb posterioritat, va batejar aquest sistema amb el nom de tensegrity. La seva aportació vas ser la cúpula geodèsica basada en aquest principi.

Smelson es va situar lluny dels minimalistes i dels cinètics amb els seus plantejaments constructius d'enginyeria artística i com molts altres escultors, és difícilment classificable.

1.2.2.2.1_El Pop art i el color

31 El tensegrity, en el cas de les escultures de Snelson, funciona com una xarxa amb la tensió de cables d'acer i la compressió de tubs d'alumini que resten com si fossin suspesos, sense contacte entre ells. És un descobriment interessant des del punt de vista de l'enginyeria i de l'arquitectura que posteriorment s'ha relacionat amb les estructures de la cèl·lula.

En la dècada dels 50, l'arquitecte i enginyer capdavanter a França en la investigació de la morfologia estructural, Georges Emmerich, començà a treballar amb tensegrity. El descobriment d'aquest sistema és controvertit, ja que es consideren els seus inventors el ja esmentat Georges Emmerich, l'escultor en qüestió, Kenneth Snelson i el dissenyador i arquitecte amb qui va estudiar Snelson, Richard Buckminster-Fuller, cada un amb les seves respectives patents (Gómez, 2009, p. 1642).

Les noves generacions americanes dels seixanta van assolir un protagonisme, inèdit en l'escultura i en la renovació de l'art, fonamentalment amb el Pop Art i el Minimal, però també amb l'Art Cinètic. L'aplicació de colors vius, especialment en el Pop Art i en l'Art Cinètic, també es deixà notar en els treballs de l'alumini.

A finals dels cinquanta es generà una reacció enfront de l'Expressionisme Abstracte, entrant aquest en un declivi. El Pop art, en un moment de creixement econòmic (1962), efectuà el relleu alliberant-se del moviment anterior i de les influències europees.

Els artistes del Pop Art³² van assumir els objectes de la vida quotidiana, allò que s'identifica més clarament amb el moment i el lloc que estaven vivint; la cultura de masses, una societat urbana, consumista i, fins a cert punt, banal, eren elements que es poden convertir en obra d'art. Extreïen les seves temàtiques dels còmics, de les revistes, dels diaris sensacionalistes, de les fotos, dels anuncis publicitaris, del cine, la ràdio, la televisió, la música i altres, convertint-los en icones. El pop nord-americà es va veure recolzat des del principi per la Galeria Leo Castelli Green de Nova York, fundada el 1957 i la ja desapareguda Sidney Janis Gallery (1998) de la mateixa ciutat, que obrí les portes el 1948,³³ i on hi van fer diferents exposicions³³ (Castelly Gallery, s.d.).

32 Entre els artistes més representatius d'aquest moviment americà cal destacar a Robert Rauschenberg, Frank Stella, Jasper Johns, Roy Lichtenstein, Andy Warhol, Jim Dine, Claes Oldenburg, Allan Kaprow i John Cage.

33 El 1962 s'inaugura l'exposició “The New Realist” a la Sidney Janis Gallery; aquest esdeveniment va significar l'arribada del Pop Art a gran escala. Segons Sidney Janes, després d'aquesta exposició, alguns dels expressionistes abstractes (Rothko, Guston, Gottlieb i Motherwell) varen desvincular-se de la galeria:

A continuació, exposem alguns dels artistes d'aquest moviment que varen aplicar el color en les seves escultures realitzades amb metall fos:

Jasper Johns

Les primeres obres de Jasper Johns varen significar la ruptura amb l'art expressionista abstracte donant pas a l'Art Pop i al Minimalisme en etapes posteriors. En paraules de Yau (2014):

There is a widely accepted view of Jasper Johns's first exhibition that goes like this: with his "flags," "targets," "numerals" and "alphabets," he integrated representation and abstraction, as well as made art about art (the flag, like a painting, is flat and two-dimensional), showing his peers a way to bypass Abstract Expressionism. Many critics pointed out that the numerals and the letters of the alphabet did not number or name anything in the world and were therefore abstract paintings in which a grid and repetition played a central role. Also, his all-white American flag further opened up the possibilities of monochrome. (par. 4)

Pel que fa al color en l'escultura, Johns utilitzà la pintura a l'oli per a cobrir, totalment o parcialment, alguns dels seus bronzes i imità, de forma

I tried to induce them to stay, explaining that the younger artists could not be considered competitive, but all in vain. As disturbing as it was, we continued with the Pop generation, which in the meantime has made its own reputation. Incidentally, Bill de Kooning was one of the artists who attended that fateful meeting. I later heard that he offered no protest. He was the only one who stayed with the gallery. I always felt that Pollock and Kline, both of whom had died, would have remained as well. (Janes, com es va citar en Wolf, s.d.)

realista, productes o composicions prosaiques amb la tècnica del "trompe-l'oeil" ("artifici" en català i "trampantojo" en castellà). Formant part d'aquests bronzes pintats trobem la *Painted Bronze*, del 1960, pot de cafè amb pinzells, o la *Ale Cans*, del 1964, dues llaunes de cervesa de la marca "Ballentin", les quals pintà parcialment, aprofitant el color del bronze similar al dels recipients originals (Agencia EFE, 2015; Hägele, 2013, p. 288).

Curiosament va dur a terme escultures en alumini fos, les quals no va pintar sinó que conservà l'aspecte de metall, habitualment envellit, conferint-li d'aquesta manera un aspecte plomis i guardant una relació estètica amb *The Critic Smiles*, del 1959 o *The Critic Sees*, del 1961, totes dues foses en plom. Algunes de les peces produïdes amb alumini fos sense pintar són *0 through 9*, del 1961 (fosa el 1966) i altres d'anys posteriors com *Numbers*, del 2007, o *0-9*, del 2008.

Andy Warhol

La "The Factory", un estudi d'art fundat per Andy Warhol (1928-1987) ubicat al carrer 47 de Nova York, actiu entre 1963 i 1968, era també conegut com la Silver Factory per les seves parets recobertes de paper d'alumini, miralls i pintura platejada³⁴; aquest color és el que defineix també el de l'alumini i és el que s'associa al missatge que volia transmetre Warhol, on el glamur, associat a la plata com a metall preciós, es barrejava amb el qüestionament cultural d'una societat consumista

34 La decoració de The Factory anava a càrrec del fotògraf Billy Linich (posteriorment Billy Name) (Tillman, 2019, p. 13); segons Billy, el color platejat "representava el futuro para Andy". (Cervera, 2016)

basada en la reproductibilitat.

Pocs anys després de Johns, Andy Warhol (1928-1987) començà a treballar, dins de la seva visió positiva de la cultura ordinària amb llaunes de sopa (sèrie Campbell's Soup), creant amb les seves pintures, serigrafies i fotografies, una de les imatges més icòniques del s. XX. Una reproducció inusual de les famoses llaunes és la sèrie de 10 llaunes, *Campbell's Soup Can (Chicken with Rice)*, del 1966, de 50 x 40 cm que va realitzar amb alumini fos el 1966, a les quals va serigrafiar posteriorment l'etiqueta (Armand Bartos Find Art, 2011; Howard, 2011, par. 3).

Claes Oldenburg

Aquest escultor nascut a Estocolm (n.1929) va emigrar amb els seus pares als Estats Units on es va formar artísticament en un moment expansiu entre els artistes de l'expressionisme abstracte. Durant el primer quinquenni dels seixanta es va dedicar als happenings, essent alguns dels accessoris pintats que va emprar en aquests actes, els detonants de la seva escultura.

El 1961 va obrir una botiga "The Store" (1961-62), per a vendre reproduccions amb guix d'hamburgueses i altres tipus de menjar ràpid; d'aquí sorgeixen alguns dels objectes amb format gegant, resolts amb vinil farcit, lona i escuma de cautxú, que caracteritzen la seva obra. Oldenburg va utilitzar a partir d'aquest moment, l'estratègia de l'ampliació d'escala. Al "fast food" se li sumen els objectes quotidians, ampliacions d'accessoris de bany, ventiladors, màquines d'escriure, entre altres. Aquestes escultures toves, realitzades amb subproductes del petroli com els plàs-

tics, el vinil, la resina i d'altres com la fibra de vidre o el guix, transformen la percepció amb un toc d'ironia, alterant la seva escala.

Ja en etapes posteriors, els materials dels objectes que va reproduir són substituïts per altres de més perdurables com l'acer, l'alumini, la resina de polièster reforçada amb fibra de vidre, etc., a causa de la necessitat de suportar les inclemències de l'espai públic.

Veurem obres d'aquest autor i de la seva companya, on participa l'alumini i el color, en les dècades següents i el mateix passarà amb Roy Lichtenstein, un altre representant singular d'aquest corrent artístic, que realitzarà escultures amb aquest metall a partir dels vuitanta.

Eduardo Paolozzi

El Pop Art té una vessant anglesa amb artistes rellevants³⁵ entre els quals s'inclou Eduard Paolozzi (1924-2005); aquest escultor escocès va mantenir un llarg recorregut artístic i docent.

Tornat de París a Anglaterra, emprà el collage amb influència dadaïsta en les seves primeres obres dels quaranta i a finals dels cinquanta, realitzà escultures foses amb bronze, per a les quals utilitzà peces de maquinària per adoptar una aparença impersonal, arcaica, amb textures exuberants a les quals incorporà rellotges, panys, forquilles o parts d'automòbil. En relació amb els "objets trouvés", Paolozzi (1995) va co-

³⁵ David Hockney (1937), Allen Johns (1937) o Richard Hamilton (1922) en són un exemple.

mentar:

Busco subrayar todo lo que de maravilloso o ambiguo hay en los objetos más ordinarios, objetos que a menudo nadie se detiene a mirar ni a admirar. Además, intento someter esos objetos, que son los materiales básicos de mis esculturas, a más de una metamorfosis. (p. 657)

Als inicis dels seixanta treballà construïnt amb elements industrials reciclats de fosa d'alumini que pintà amb colors vius propis del Pop Art; el resultat varen ser una mena de robots que al·ludeixen al model de societat industrialitzada i automatitzada³⁶ (MOMA, 1964, p. 2). Aquest sistema constructiu d'arrels en el ready-made, va anar mutant fins a tal punt que els elements d'alumini emprats, en la seva gran majoria, ja no tenien el seu origen en el reciclatge, essent de vegades, comprats nous en establiments de subministraments o encarregats a les fonderies per a obtenir unes formes geomètriques específiques proposades pel mateix Paolozzi (Martin, 2013, p. 17).

D'aquesta espècie d'ídols totèmics d'una cultura tecnològica en va fer diverses obres pintades: *Hermaphrodite Idol no. 1*, del 1962, *Towards a New Laocoon*, *Diana as an Engine I*, *The city of the circle and the square* i *The last of the idols*, totes quatre del 1963 i *Wittgenstein at the Casino*, del 1964. Sobre aquestes, Herbert Read (1998) va comentar: “sus nuevas imágenes, máquinas herramienta sin función u ordenadores es-

tériles, no provienen, como su obra anterior, de los desechos del industrialismo, sino del orden racional de la tecnología” (p. 235) i, en un altre fragment del mateix document afegeix: “denominando ‘ídolos’ a algunas de esas construcciones, Paolozzi dio nuevo aliento a una interpretación animista de su obra; pero lo consistente es la contradicción realizada o incorporada: como si el ordenador mecánico hubiera conseguido finalmente tener un alma” (p. 236).

La seva producció en alumini, on entremesclava la fosa i els elements extrusionats, va ser molt fructífera; en aquest metall, però en aquest cas sense el tractament d'acolorat i més pròximes a la dècada dels 70, trobem *Artificial Sun* i *Parrot*, del 1964, *Trishula*, del 1966, *Yantra* i *Kalasan*, les dues del 1973-1974, entre d'altres.

Tot i que ja no pertany a la dècada dels 60 i no té una relació formal amb els robots d'aquella etapa ni amb les construccions arquitectòniques a partir de mòduls dels 70, per acabar exposem l'obra *Piscator*, que el 1980 realitzà per encàrrec de la British Rail (Londres), una obra de dimensions importants instal·lada prop de l'estació d'Euston. L'escultura està realitzada amb ferro fos, però la part externa és d'alumini. Paolozzi va comentar sobre el material: “The entire decision was up to me to make the head out of any material, but I have always wanted to improve on using iron as a public material” (Paolozzi, com es va citar a Alberge, 2019, par. 10).

1.2.2.2.2_L'art minimal i el color

Durant aquests anys (1960-1970) l'Art Minimal i el Pop Art van conviure

³⁶ Es considera el primer artista en pintar escultures realitzades en alumini fos (Ward, 2008, p. 9).

i encara que van formalitzar amb les seves obres el context industrial de forma diferent, aquest hi era en tots dos corrents; en uns, perquè utilitzaven els materials i les possibilitats constructives que oferia i en els altres perquè s'apropriaven, en diversos sentits, de la seva producció: per una banda, del seu sistema de producció en cadena i per l'altra, pel consumisme que promovia i que definia la cultura popular del moment³⁷.

L'Art minimal, considerat com la darrera avantguarda, va rebutjar l'il·lusio-nisme que situa l'obra en un espai metafòric o de significacions transcendents.

Los escultores que entraban en esta categoría teórica del minimalismo propuesta por Wolheim eran Donald Judd, Robert Morris, Dan Falvin, Carl Andre y Tony Smith. Sus obras no sólo mostraban una falta de diferenciación, sino que los elementos constitutivos de los objetos que realizaban procedían de un inventario de cosas muy ordinarias: paneles de madera contrachapada, tubos fluorescentes, ladrillos refractarios, cuerdas y fieltro industrial... obras que parecían aspirar a la condición de no arte, demoler cualquier distinción entre el mundo del arte y el mundo de los objetos cotidianos. (Krauss, 2002, pp. 239-249)

El Minimal que descarta la composició i l'ordre jeràrquic de les coses, es caracteritza pel caire abstracte, la simplicitat geomètrica, l'austeritat

³⁷ La cultura de masses era la predominant en aquells moments i es caracteritzava per ser despersonalitzada, qualitat que adoptaren els artistes d'aquell moment, incentivant sistemes de producció on l'artista no executava personalment l'obra i promovent la producció en cadena, i en conseqüència, desproveint l'obra d'originalitat (Doss, 2007, p. 122).

formal, la serialitat, l'ocupació de l'espai sense pedestal, l'absència de contingut i també “[para] la producción, utilizando materiales industriales, de objetos abstractos de formas regulares, sencillos o compuestos de elementos iguales o del mismo valor compositivo, y aislados o repetidos en una serie ordenada o sin orden” (Pérez, 2003, pp. 54-55).

En 1964, a propósito de ese carácter repetitivo tanto de su propia escultura como de las pinturas de Frank Stella, Donald Judd escribió: ‘El orden no es ni racionalista ni subyacente, sino simplemente un orden, el de la continuidad de una cosa detrás de otra’.... Era, decían, una estrategia para evitar la composición relacional que identificaban con el arte europeo... una cosa detrás de otra era una manera de evitar establecer relaciones. (Krauss, 2002, pp. 239-240)

Aquest corrent no va marginalar l'alumini com a tal, de fet el va utilitzar en determinades obres de Donald Judd (1928-1994), Carl André (n.1935) o Sol Lewit (1928-2007), entre altres artistes, també sota la influència del Minimal. El que va posar en qüestió són els procediments tradicionals de la fosa vinculats a una determinada concepció de l'art en la qual l'obra actua com a intermediari de l'objecte representat.

The first artist to explore the use of aluminium for its specific material qualities as finished surface rather than as a substrate for paint work were Donald Judd (1928-94), Carl André (b 1935), who used 25 one-metre squares of bare aluminium plates for Aluminium Square (1968; New York, Museum of Modern Art), and Frank Stella (b 1936), whose aluminium honeycomb panel constructions

were etched and inscribed, abraded and partially painted. (Ward, 2008, p. 9)

Entre els artistes més destacats que varen emprar l'alumini en les seves obres trobem:

Donald Judd

Judd (1928-1994) utilitzà l'alumini amb materials industrials en molts dels seus "espais expandits" que havia començat a desenvolupar a partir de dibuixos i litografies en la dècada dels cinquanta. Segons ell (1994)³⁸:

Las tres dimensiones posibilitan el empleo de todo tipo de materiales y de colores. La mayoría de las obras recurren a nuevos materiales que acaban de salir al mercado o que no habían sido utilizados anteriormente en el ámbito del arte. Hasta ahora se había sacado muy poco provecho de toda la gama de productos industriales. No se ha hecho casi nada a partir de las técnicas industriales, y seguirá siendo así durante algún tiempo debido a su coste.... Los materiales varían mucho y son sencillamente materiales: formica, aluminio, acero laminado en frío, plexiglás, cobre rojo o amarillo, etc. (p. 27)

Per accentuar la literalitat tridimensional de les seves produccions ubicades a l'espai³⁹, passa a anomenar-les "objectes específics" (Peñaranda,

38 Text publicat per primera vegada en Arts Yearbook 8 (1965).

39

Se puede considerar que las situaciones ambientales llevadas a cabo por los artis-

da, 2014, pp. 181-183) i per a definir aquests objectes utilitza diferents materials i aplica també colors⁴⁰.

La mayor parte de los nuevos materiales no son tan accesibles como un óleo sobre lienzo, y resulta difícil asociarlos unos con otros. No se identifican con el arte de buenas a primeras. En las obras anteriores, la estructura y las imágenes se elaboraban con un material neutro y homogéneo. Por el hecho de que pocas cosas son informes, pueden existir dificultades para combinar colores y superficies diferentes y para unir las partes, evitando al mismo tiempo que la unidad del todo se debilite. (Judd, 1994, p. 27)

De fet mostra un interès evident per l'aplicació dels materials cromàtics: "el interés manifestado por Judd en el empleo de materiales que en sí mismos poseen cualidades cromáticas o luminosas, o de colores plásticos que no son sobrepuestos a un soporte neutro sino que son ese soporte", en conseqüència, Judd no dubta en "la utilización de materiales industriales con color, ya sea el plexiglás transparente coloreado, las planchas de resina, de apariencia plástica, o el aluminio pintado que retiene su cualidad metálica, y es característico de Judd" (Pérez, 2003, pp. 135, 161).

tas minimalistas fueron las primeras experiencias de arte del environnement: obras pensadas y realizadas en función del espacio (galerías, museos, centros urbanos, etc.) que, como tales, conferían un carácter de experiencia única e irreplicable al hecho de exponer y a aquello que se exponía. (Guash, 2000, p. 29)

40 "Definir el objeto mínimo como un 'objeto específico' con capacidad de no significar nada y estar desnudo de toda significación interna de signos y formas" (Guasch, 2000, p. 27).

En diverses de les seves obres escultòriques, difícils de diferenciar a l'hora d'anomenar-les, ja que moltes d'elles porten per títol "Untitled"⁴¹, utilitza alumini en planxa que pinta o anoditza. De vegades, complementa l'alumini pintat amb les propietats d'altres materials; en la peça *DSS 321*, del 1972, una planxa d'alumini pintat de color vermell, reflecteix el seu color en les parets de coure brunyit que l'envolten. La majoria dels anoditzats sobre planxa que dur a terme durant aquests anys no estan acolorats, això no vol dir que el color no hi aparegui, ja que Judd complementa l'alumini tractat amb làmines de plexiglàs de diversos colors, una mostra en són alguns dels "Sense títol" realitzats el 1969. En anoditzat acolorat trobem a les acaballes d'aquesta dècada algunes obres també titulades *Untitled*, n'és un exemple *Untitled* del 1969, en la que combina llautó i alumini anoditzat de color blau; en aquest cas construïdes a partir de perfil·leria, aquestes obres varen donar pas a una extensa producció en aquesta línia de treball.

Segons Ward (2008):

The use of anodizing as a colouring method rather than just an added corrosion protection was first used as early as 1969 by Judd and was still being explored in the late 20 th century by sculptors,

41 Als anys setanta, Donald Judd va realitzar una conferència a la Facultat de Belles Arts de la Universitat de Barcelona, a la sala d'actes; el sorprenent de la projecció de diapositives varen ser els seus "comentaris", traduïts de l'anglès per l'intendent. Aquests aclariments van ser tan mínims com la seva obra: es va limitar a reproduir el nom de l'obra, "Untitled", les mesures i el material. Aquesta referència s'ha rebut en converses ocasionals procedents de diferents professors de la Facultat que en aquell moment van poder assistir com alumnes del centre (J. Valle, comunicació personal, 19 de novembre de 2019).

notably Karl Schantz (b 1944) and Barbara Brown (b 1958).⁴² (p. 10)

Carl Andre

L'artista nord-americà Carl Andre (n.1935) evolucionà des dels apilaments verticals dels tacs de biga que ens remeten a la *Columna sense fi*, del 1938, de Brancusi, cap a l'horitzontalitat gairebé plana adaptada a múltiples espais i contrastada pel gruix exclusiu dels materials emprats en els seus alineaments de totxanes o recobriments del terra amb planxes metàl·liques. Dos exemples: *Aluminum-Magnesium Plain*, del 1969, consta de 18 planxes quadrades d'alumini i 18 de magnesi que cobreixen la superfície d'un quadrat alternant-se en la seva disposició. *144 Aluminum Square*, del 1967, està formada per 144 planxes quadrades, d'1 cm de gruix i uns aproximats 36,5 cm de costat; en conjunt, la superfície coberta amb el metall brillant és la d'un quadrat de 365,8 cm de costat (Northon Simon Museum, s.d.; Ward, 2008, p. 9).

La literalitat dels objectes de materials industrials (acer, plom, magnesi, zinc o alumini) es fa evident amb el color i el format de les seves obres⁴³.

L'alumini fos, tot i que seguia conservant el color platejat que feia referència a allò industrial, la tècnica de producció excessivament processu-

42 Segons la documentació consultada, "Ellsworth Kelly: Wall to Wall" de Rimaneli, Ellsworth Kelly, el 1957, ja havia aplicat l'acolorat a partir de l'anoditzat en la seva escultura *Large Wall*.

43 Andre replica constantment la idea de superfície recoberta per planxes metàl·liques, com podem identificar en els noms d'algunes de les seves obres: *100 Zinc Square*, del 1968, *Magnesium Square*, *Aluminum-magnesium alloy square*, *Aluminum-Copper Alloy Square*, *144 Lead Square*, totes del 1969, o *144 Titanium Square*, del 2011.

al remetia a una producció “clàssica”; per tant, llunyana de la “proposta” que volien transmetre⁴⁴. Era l'alumini semielaborat i els seus múltiples formats, el que atreïa l'interès d'aquests artistes, però no l'alumini fos.

Sobre la idea promulgada per Ludwig Mies van der Rohe (1886-1969) de què “menys és més”, adoptada posteriorment pels minimalistes, l'arquitecte germà-estatunidenc pronunciava les següents paraules:

The meaning of art is not to transfer a message like a telegraph. There is no idea behind the artwork; the artwork itself is the idea.... Minimal means to me only the greatest economy in attaining the greatest ends.... My works are intended to give pleasure, nothing else. (van der Rohe, com es va citar en Andre, 1999, p. 81)

Sol LeWitt

Sol LeWitt (1928-2007), escultor vinculat a l'Art Minimal i també al Conceptual, és conegut per les seves obres tridimensionals d'estructures modulars fonamentalment cúbiques. En *Incomplete Open Cube*, del 1974, explorà les variables d'aquest tipus d'estructura cúbica. En *Serial Project I (ABCD)*, del 1966, utilitzà estructures d'alumini recobertes amb esmalt blanc; amb aquesta escultura va defugir qualsevol aspecte emocional aportant tota la informació sobre l'ordenació reticular cúbica, similar a una maqueta d'urbanització arquitectònica.

⁴⁴ Els minimalistes treballaven amb mecanismes industrials amb la intenció d'eliminar la connexió entre l'artista i l'obra.

The aim of the artist would not be to instruct the viewer but to give him information. Whether the viewer understands this information is incidental to the artist; he cannot foresee the understanding of all his viewers. He would follow his predetermined premise to its conclusion avoiding subjectivity. Chance, taste, or unconsciously remembered forms would play no part in the outcome. The serial artist does not attempt to produce a beautiful or mysterious object but functions merely as a clerk cataloging the results of his premise. (Moma, 2004, p. 272)

1.2.2.2.3_ El Postminimal, l'art d'acció i la desmaterialització de l'objecte

Des del si del mateix Minimal sorgeix la tendència antiformalista, coneguda també com el Postminimal, que es converteix en alternativa al seu predecessor. Els antiformalistes superen les limitacions de la forma gestàltica minimalista a través de l'experimentació del procés, la provocació de reaccions sensorials i la utilització de materials tous i flexibles com el feltre, la lona, les resines, les cordes, etc. Formes i materials que provoquen sensacions i motiven l'espectador, al contrari que en el minimal, on la percepció visual és dominant⁴⁵. La crítica d'art Lucy Lippard (n.1937) i el galerista i col·leccionista Rolf Rieke (n.1934) es van mostrar defensors d'aquesta mena de propostes organitzant exposicions, atrets per la

⁴⁵ Eva Hesse en *Accession II*, del 1969, parteix d'un cub exterior de planxa metàl·lica perforada, d'uns 78 cm de costat, el qual folra interiorment amb infinitat de tubs de plàstic, saturant les cares interiors provocant la sensació de teixit. L'impuls immediat de l'espectador és el de tocar aquesta superfície interior de contrast càlid amb l'exterior fred; la intenció de provocar sensacions i de transmetre contingut, més enllà de la literalitat minimal, resulta evident.

capacitat d'introduir la sensualitat, l'humor i la renúncia al reduccionisme minimalista, tot i que el caràcter efímer de certes obres va causar controvèrsies en altres sectors de la crítica (Gaillard et al, 2014, par. 1).

Entre aquests artistes cal esmentar a Richard Serra (n. 1939) i la seva preocupació per evidenciar la densitat dels materials en relació amb l'equilibri. En *One Ton Prop (House of Cards)*, del 1969, les quatre planxes de plom i antimoni, aliatge propi dels "tipo" de les lletres d'impremta amb un pes aproximat als 250 kg cada una de les planxes (en conjunt sumen una tona, pes del qual deriva el títol), ens mostren l'espai cúbic de referència minimal i elemental de seu interior, però a la vegada ens transmet de forma impactant, amb certa inclinació sobre la vertical, la sensació d'inestabilitat de la construcció amb la corresponent percepció de risc. La sensació pesada i tova del plom gris opac és un aspecte fonamental, ineludible en la comprensió d'aquesta obra; la mateixa peça resolta amb planxes d'alumini, en lloc de les de plom, seria rotundament diferent.

Amb el mateix material, en aquest cas plom fos, ens trobem amb *Splashing*, del 1969. El títol, que fa referència a les esquitxades del plom líquid a les raconades de les parets dels espais expositius, no deixa de ser un gest propi dels expressionistes americans. Krauss (2002) anomena aquesta peça de Serra com "Fundición":

Piezas como la Fundición, 1969, hecha mediante el procedimiento repetido de echar plomo fundido en el ángulo entre el suelo y la pared y retirar la forma endurecida hacia el centro de la habitación, con lo cual se conseguía una secuencia de bandas de plomo muy parecida a la de las olas sucediéndose unas a otras camino de la

orilla. (p. 239)

El tractament de materials mòrbids de l'Art Processual, Postminimal, materials flexibles com làtex, plàstics transparents, sacs, cordes, vinils, cautxús, etc. s'allunya de les construccions rígides del Minimal. Els metalls en general i l'alumini en concret no participen pràcticament en els treballs d'aquesta mena. Però el procés formalitzador dels materials tous donarà peu a tot un seguit d'exploracions, que ocasionalment es resoldran amb l'alumini fos en dècades posteriors.

Als seixanta sorgeixen altres moviments amb orientacions absolutament divergents en relació amb el tema tractat; veurem la seva continuïtat al llarg dels anys setanta. Els artistes englobats en aquest moviment, fruit de les actituds contestatàries, van deixar de banda l'objecte material com obra d'art. Ho veiem en alguns exemples com l'Art Corporal, que es va donar simultàniament a Europa i als Estats Units, que considerà el cos com el lloc i mitjà d'expressió artística; en els happenings que també es van donar als dos costats de l'Atlàntic i que van posar el focus en l'esdeveniment: en accions artístiques de caràcter escènic on podien participar els espectadors i en el més paradigmàtic, l'Art Conceptual de la segona meitat dels seixanta i principis dels setanta, que va accentuar el procés encetat per l'Art Minimal de valoració de la idea en detriment de l'objecte i va posar el focus d'atenció sobre el concepte de l'obra.

El procés de desmaterialització de l'objecte, iniciat amb l'abstracció i amb la integració de l'espai en l'escultura, arriba amb aquesta última corrent al punt àlgid, utilitzant fonamentalment els recursos gràfics, texts, mapes, fotografies i els nous mitjans com el vídeo, en un afany documental i de

registre, trencant tant com li va ser possible amb el sistema de materialització de l'objecte integrat en el mercat de l'art.

Altres corrents com Fluxus o pràctiques com les instal·lacions van tenir repercussió en dècades posteriors en el tema tractat. Fluxus, en continuïtat amb els plantejaments dadaïstes, a través del teòric George Maciunas (1931-1978), proposà desterrar les belles arts enteses com a mercaderia per a la burgesia, recorrent fonamentalment a les accions de naturalesa escènica (la performance) emprant disciplines diverses com la música, la literatura o el vídeo i mantenint una postura políticament reivindicativa. Fluxus és originàriament alemany, però va estendre ràpidament per altres ciutats fins a arribar a Nova York. És evident la seva influència en altres activitats com el happening o el videoart. Entre els seus components inicials trobem a Joseph Beuys del qual en parlarem en l'apartat dels vuitanta.

1.2.2.2.4_L'art cinètic

El cas de la utilització de l'alumini en planxa i d'índole constructiu, el continuem trobant en altres corrents com l'Art Cinètic. Aquesta és una tendència d'origen europeu amb inicis diversificats, que va tenir un desenvolupament notable entre els seixanta i els setanta, amb la participació d'artistes europeus i americans del nord i de sud⁴⁶. Es va fonamentar en la capacitat estètica de l'objecte material per adquirir moviment real, que

46 L'expressió art cinètic es referència el 1960, al Museum für Gestaltung, de Zurich. El 1965, sembla ser una data rellevant, amb l'exposició de la galeria Denise René sobre "Le Mouvement" amb artistes com Victor Vasarely, Marcel Duchamp, Alexander Calder, Jesús Rafael Soto, Yaacov Agam, Jean Tinguely, Robert Jacobsen i Pol Bury.

A més a més d'alguns dels artistes ja mencionats, se sumen a l'Art Cinètic Jesús Rafael Soto, Eusebio Sempere, Julio Le Parc i Francisco Sobrino Ochoa.

situa el seu territori en l'àmbit de l'escultura construïda. En general, en aquestes obres predominen els aspectes estructurals i constructius sobre els formals. En els artistes de l'Art Cinètic, l'actitud mecanicista i dinàmica heretada dels futuristes i dels constructivistes els aboca a l'aplicació de sistemes per activar el moviment. Aquestes escultures cinètiques poden requerir la intervenció d'energies externes, elèctriques, electromagnètiques, agents ambientals o la participació activa de l'espectador.

L'Art Cinètic té precedents conceptuals en artistes esmentats anteriorment que treballen amb la necessitat d'evidenciar el moviment⁴⁷, però dins de les avantguardes, el discurs més contundent en relació amb la velocitat com a paradigma artístic de la nova societat és el dels futuristes; també Duchamp en alguns dels seus objectes recuperats, incorporà el moviment. Per altra banda, Naum Gabo va fer una aportació especial en aquest sentit als anys vint, amb el text del seu "Manifest Realista" al·ludint als "ritmes cinètics" i amb la seva obra *Kinetic Construction*, del 1919-20, realitzada amb una barnilla d'acer, vibrada amb un motor⁴⁸.

Les aportacions dels artistes vinculats a la Bauhaus, amb les obres fonamentades en els estudis sobre la percepció òptica de seqüències repetides que generen ritmes visuals, també són rellevants en aquest sentit. László Moholy-Nagy (1895-1946) va ser un artista multidisciplinari que as-

47 Per exemple Rodín, esmentat per aquesta peculiaritat anteriorment.

48 En un text publicat a Moscou, l'agost de 1920, Gabo i Antoine Pevsner diuen:

Renunciamos al desencanto artístico enraizado desde hace siglos, según el cual los ritmos estáticos son los únicos elementos de las artes plásticas. Afirmamos que en estas artes esta el nuevo elemento de los ritmos cinéticos en cuanto formas básicas de nuestra percepción del tiempo real. (de Micheli, 1979, p. 401)

sumí l'esperit utòpic de les avantguardes dels anys vint i trenta. Professor a la Bauhaus alemanya fins a l'arribada del nazisme, on s'encarregava del taller de metal·lúrgia, fou allí on va fomentar i experimentar amb la seva obra usant diversos materials innovadors. Emigrat als EUA, es va convertir el 1937 en director de la Nova Bauhaus de Chicago. Un esment especial mereix la seva escultura *Light space Modulator*, del 1930⁴⁹.

Entre els artistes d'Art Cinètic n'hi ha un bon nombre que utilitzà l'alumini com a element estructural en les seves obres. A continuació fixem la nostra atenció en alguns d'ells.

Alexander Calder

Calder (1898-1976) no va pertànyer a cap moviment avantguardista, encara que breument, a principis dels anys trenta, formà part del grup Abstraction-Creation a París. Tot i això, mantingué amistat amb artistes d'avantguarda. De fet, la visita de Calder el 1930 al taller de Piet Mondrian que també formava part del grup esmentat, va tenir força repercussió en el desenvolupament inicial de la seva obra abstracta, donant peu poc després a les primeres escultures, que Duchamp va batejar com a "Mòbils". L'ús del color en Calder, també sembla tenir relació amb Mondrian

49 El *Light Space Modulator* (Modulador de llum i d'espai) 1930, (151 x 70 x 70 cm) és una escultura cinètica, on el moviment el genera un motor elèctric que fa girar tota l'estructura formada per enreixats metal·litzats i làmines perforades col·locades sobre un plat rodó de metall. La base és una caixa cúbica amb una obertura circular a la part davantera. A l'interior s'han instal·lat bombetes de diferents colors. La utilització de la llum, natural i artificial i del color potència la percepció d'inestabilitat dinàmica. El joc de llums, estructures metal·litzades i plans, genera en posar-se en moviment, tot un seguit d'ombres i llums canviants. L'aspecte metal·litzat i reflectant dels elements estructurals de la peça, la situa en un territori de modernitat propi de la Bauhaus.

i amb el seu amic Miró, amb qui també va compartir l'interès per les formes arrodonides. La seva actitud lúdica, amb les actuacions del seu circ de filferro i d'aquesta mena de joguines (els Mòbils), també ens mostra certa proximitat amb la proposta surrealista.

En aquest entorn, el 1931, utilitzà ocasionalment fragments de xapa d'alumini, pintades de blanc o negre o diferents colors, per als seus *Mòbils* incipients. Les formes planes arrodonides són una síntesi de les constel·lacions planetàries esfèriques en moviment constant, que anteriorment havia reflectit volumètricament amb fustes. Calder ha estat considerat precursor de l'art cinètic.

Els *Mòbils* van ser una part molt rellevant de la seva producció, generant un bon nombre d'aquestes peces com a maquetes i com a projectes elaborats per a centres, com el de 1976 de La National Gallery of Art de Washington, alguns dels quals són de grandària impressionant. En la seva obra utilitzarà fonamentalment, acer pintat.

Georges W. Rickey

Els materials emprats en l'Art Cinètic són fonamentalment industrials, entre els que predominen els metalls i plàstics. Val la pena posar com a exemple en l'aplicació estructural de l'acer amb tractaments metal·litzats brillants a l'artista cinètic, escultor i professor d'escultura en diversos centres estatunidencs i berlinesos, Georges Rickey (1907-2002), deutor dels plantejaments de Gabo, a qui admirava, de l'obra de Calder o dels *Cubi* de Smith, al qui va rendir homenatge.

Va treballar fonamentalment amb elements estructurals d'acer, metal·litzat i brillant, que adquireixen moviment amb el vent reflectint els rajos de llum en múltiples direccions. La motivació inicial pels mecanismes cinètics va estar relacionada amb la seva dedicació, en la Segona Guerra Mundial, com a dissenyador d'elements mòbils per al suport de l'armament. Una mostra de les seves peces en acer en són *Space Churn*, del 1972, *Two Open Rectangles*, *Eccentric*, *Variation VI*, del 1976 i *Delta Theme with Two Lines II*, del 1978 i 1979; i en acer i l'ús del color, *Diptych - The Seasons III*, i *Triptych*, les dues del 1956.

En construcció d'alumini de la dècada del 80, en són un testimoni *Open Trapezoids Eccentric One Up One Down III*, produïda entre 1981 i 1987, *Three Parallelepipeds II*, del 1985.

Altres artistes, força rellevants dins de l'Art Cinètic, apliquen l'alumini com a suport de les seves obres. Un exemple el veiem en Victor Vasarely (1906-1997) amb l'obra mural *Positive and Negative*, del 1954, exposada a la Ciutat Universitària de Caracas, a Veneçuela i algunes de la quasi trentena de "Penetrables"⁵⁰, obres efímeres de Jesús Rafael Soto (1923-2005). Per altra banda, Julio Le Parc (n.1928) realitza múltiples mòbils que amb els reflexos de la llum, estimulen la percepció visual.

Al catàleg italià esmentat en altres ocasions, "Alluminio. Tra Futurismo e Contemporaneità...", l'autor refereix diferents artistes vinculats a l'Art Cinètic. En aquest sentit, esmentarem la tridimensional *Struttura sferica*,

50 Els Penetrables són escultures de dimensions considerables que Soto plantejà amb la intenció de què l'espectador i participes, i penetres per a experimentar l'obra des d'una vivència més completa.

del 1965, de Nane Zavagno (n.1932), construïda amb seccions planes de planxa d'alumini; Zavagno també ha fet diverses obres sobre superfícies planes en relleu amb planxa en la sèrie *Alluminio anodico*. En aquest mateix catàleg també es mostra la construcció modular, la *Strutture continue, mod. 105 (edizione IMAGO DP)*, duta a terme entre 1961 i el 1985 amb "alumini anticorodal"⁵¹, esmerilat i anoditzat, del polifacètic i reconegut dissenyador Bruno Munari (1907-1998), malgrat que aquesta no tingui una relació definida amb el corrent comentat (Panzetta, 2013, pp. 86-87).

51 Es coneixen com a alumini anticorodal certs aliatges específics d'alumini que ofereixen molt bona resistència a la corrosió i que donen molt bons resultats en el tractament d'anoditzat.

1.2.3_L'escultura d'alumini de finals del segle XX

1.2.3.1_Els setanta

La situació històrica⁵² dels setanta va prorrogar el període precedent: polarització de blocs i conflictes bèl·lics, expressions progressistes i solidàries i avanços socials, mèdics i tecnològics. Les generacions dels setanta visqueren un període de relativa complexitat que reflectiren a través de diferents tipus de moviments socials i culturals. L'art continuà amb la mili-

⁵² El conflicte àrab-israelià i el final de la guerra de Vietnam (1973) condicionen aquesta dècada. El primer afecta greument al mercat del petroli i la "Organización de Países Exportadores de Petróleo" (OPEP) força la situació restringint la producció i provocant una crisi energètica i econòmica mundial el 1974. Es manté la Guerra Freda, però l'URSS, a mitjans dels setanta evidencia una crisi social i econòmica de grans dimensions. La mort de Mao permet una nova orientació econòmica de la Xina. Involució política a l'Àfrica i Llatinoamèrica, Argentina i Xile. El suport nord-americà a les dictadures sud-americanes afegeix nous qüestionaments a la credibilitat dels dirigents polítics de les democràcies occidentals. Revolucions i guerrilles a Nicaragua i Salvador. Caiguda de les dictadures mediterrànies. A finals dels setanta Iran es deslliga de la influència occidental i es tanca sota la llei islàmica. Sorgeixen escàndols que desacrediten als dirigents dels EUA (Watergate). Es crea la Comunitat Europea (CE) amb nou països. Es publiquen els primers estudis sobre les conseqüències negatives del model econòmic: desastres ecològics, migracions, etc. Els trastorns climàtics ja tenen conseqüències rellevants. A mitjans dels setanta apareixen epidèmies mortíferes com l'Ebola i la Sida. Malgrat tot, aquesta dècada incrementa el nivell de vida dels occidentals; la societat del benestar pren com a model els països escandinaus. Als setanta, la societat del benestar occidental viu avanços socials, científics i mèdics importants, també les primeres tecnologies digitals. La incorporació de la dona als llocs de treball va lligat al control de la natalitat i a la seva davallada. La transformació dels valors morals de les darreres dècades repercuteix en la generació jove i en les seves expressions culturals; les actituds experimentals respecte a les llibertats es mantenen durant bona part d'aquesta dècada. Els sectors progressistes i els moviments solidaris, pacifistes i antinuclears, feministes i ecologistes marcaran tot el decenni amb les seves reivindicacions. Als finals dels setanta, s'inicia la reacció conservadora que dona peu a la política de privatitzacions i retallades socials de les dècades següents.

tància crítica encetada en la dècada anterior.

El arte traspasó la frontera de la contestación individual ante el hecho social y los artistas tomaron conciencia de que obra debía dejar de ser un objeto único e impenetrable para convertirse en instrumento crítico, en arma arrojada contra la sociedad, un arma perturbadora, espontánea y, para algunos como Herbert Marcuse, decisiva en la lucha por la libertad. (Guash, 2000, p. 117)

Els qüestionaments de l'obra d'art i del sistema que el mercantilitza van tenir repercussions notables respecte a l'objecte comercialitzat.

En este contexto revolucionario surgieron varios asuntos esenciales que conformarían el desarrollo del arte de finales de los años sesenta y principios de los setenta: la reflexión sobre la identidad de la obra de arte, la nueva concepción de la forma, los diversos modelos de lenguaje visual y las nuevas estrategias, prácticas y categorías artísticas. Todo ello implicó una inclusión de la naturaleza, el azar, la materia, el tiempo, el espectador y el culto a la personalidad en la nueva obra de arte desmaterializada. (Juncosa i Paz, 2002, p. 35)

Les tres dècades finals del segle XX s'aixoplugaren sota el paraigua de la postmodernitat en considerar que l'actitud de la modernitat o avantgardista, de renovació continuada, no es podia sostenir de manera indefinida:

El periodo comprendido entre los años setenta y la actualidad [text publicat al 1993] se sitúa bajo el epígrafe de "tendencias posmo-

dernas".

Las llamadas tendencias posmodernas, mucho más próximas en el tiempo, no cuentan todavía con estudios teóricos tan profundos, ni efectuados desde puntos de vista diferentes. Muchas veces hay que recurrir a publicaciones de carácter monográfico sobre artistas concretos, que cómo es lógico, ofrecen una visión muy parcial de un tema determinado. (Cirlot, 1993, p. 8)

L'art postmodern es va diversificar i va assumir el desig de transformació i llibertat front a la necessitat d'experimentació constant i la reinvenió permanent. Referint-se a les obres tridimensionals d'aquesta època, Judd (1994) va escriure:

Las nuevas obras en tres dimensiones no forman un movimiento, una escuela o un estilo. Los aspectos comunes son demasiado generales y muy poco banales como para definir un movimiento. Las diferencias son más importantes que las semejanzas. Las semejanzas se desprenden de las obras: no constituyen los principios básicos de un movimiento o las reglas que lo definen. (p. 25)

I en aquest sentit, la Dra. Cirlot (1993) comenta:

En su mirada hacia etapas y estilos anteriores, los artistas posmodernos han combinado, en sus realizaciones, lenguajes del pasado con otros que estuvieron vivos en corrientes del siglo XX. Se ha impuesto un eclecticismo que ha afectado todos los terrenos... Cada vez resulta más complejo, y a la vez más arriesgado, intentar una clasificación por modalidades dentro de esta gran etapa que

corresponde a la posmodernidad. (p. 15)

La diversitat de corrents artístics va comportar la multiplicitat de denominacions; alguns dels moviments van prosseguir des de la dècada anterior a banda de la multiplicitat d'artistes desvinculats de qualsevol moviment⁵³.

El comentari de Krauss (1996) és aclaridor:

Casi todo el mundo está de acuerdo en lo que respecta al arte de los años setenta. Es un arte diversificado, escindido, sectario. Al contrario que en el arte de anteriores décadas, su energía no parece fluir a través de un único canal que pueda identificarse con un término sintético como “expresionismo abstracto” o “minimalismo”. Desandando la noción de esfuerzo colectivo implícita en la idea de un “movimiento” artístico, el arte de los setenta se enorgullece de su dispersión.... Tanto los críticos como los artistas recientes han cerrado filas en torno a este “pluralismo” de los años setenta. Pero, ¿qué significa realmente esa noción de multiplicidad? (p. 209)

Cal diferenciar els principis dels setanta, on es va mantenir la continuïtat amb l'ambient d'oposició a la cultura establerta i el radicalisme social dels seixanta, dels anys finals, on es percebia un esgotament en relació amb l'efectivitat de les propostes esmentades i la incertesa respecte a les alternatives de futur. La crisi econòmica del 1974 va tenir repercussions importants, políticament conservadores a finals dels setanta i sobretot, en les dècades següents.

⁵³ Alguns d'aquests moviments: Art Povera, Land art, Earthwork, Art ecològic, Art Processual, Antiforma, Art Conceptual, Art Corporal, Performance, Art Feminista, Graffiti Art, Instal·lacions, Nova Figuració o Nova Subjectivitat.

Aquesta resituació de pensament va alterar la creença en l'efectivitat de l'art com un agent capaç d'incidir en el model social el panorama del món de l'art es va modificar diversificant propostes i promovent individualitats, diluint radicalitats i motivant la reintegració de l'aspecte material de l'objecte artístic.

En conseqüència, als setanta es va produir un trencament amb el concepte d'evolució i progrés de les avantguardes. Va ser un moment de replantejaments que originà una revisió de la concepció lineal i progressiva de l'art, per a donar cabuda a les revisions amb reciclatges artístics de tot tipus; una mena d'involució i de recentrament.

L'exposició Documenta 6 de Kassel, del 1977, “sin duda, fue escenario de la confrontación entre los ‘nuevos comportamientos artísticos’ y la reivindicación de los géneros tradicionales, pintura y escultura” (Marchán, 1994, p. 318).

Però tornant als principis dels setanta, en l'etapa inicial es va mantenir la continuïtat amb els finals dels seixanta on l'obra es considerava un “instrument crític” en relació amb la societat. Observem diferents corrents que incideixen en el rebuig de l'objecte artístic comercialitzable i de les pràctiques tradicionals en l'obra d'art. En la primera meitat dels setanta, l'art conceptual, va continuar actiu; el Happening, l'art corporal, la performance, l'activisme feminista⁵⁴, entre altres, amb l'enfocament de contes-

⁵⁴ L'art feminista sorgeix a finals dels seixanta a Gran Bretanya i als Estats Units; inspirat en els moviments d'alliberació de la dona, rebutgen la cultura patriarcal i el caire masculista del sistema de l'art, inclòs el plantejament avantguardista del què se'n senten excloses. Tracten temes des del punt de vista del gènere: funcions vitals de la dona, atavismes culturals, agressions sistemàtiques, racisme, condicions laborals. Utilitzen el cos com a

tació corresponent, van mantenir aquest rebuig per l'obra integrada en el sistema de l'art. Al mateix temps, l'Earth Art o Land Art va establir una relació art-natura en el context dels grans paisatges americans, intervenint en aquests de forma significativa; en general van utilitzar materials terrosos del lloc, rebutjant d'aquesta manera la generació d'objectes artístics tradicionals per al mercat de l'art els registres fotogràfics permetien testimoniar el valor conceptual de l'obra.

En contrapartida ens van donar actituds oposades, absolutament deutes de l'objecte de mercat. L'Hiperrealisme, iniciat a finals dels seixanta, recuperà, amb precisió de detalls, una figuració deutora del Pop-Art en l'aspecte quotidià e irònic. Amb freqüència treballà amb resines i materials plàstics però excepcionalment, va fer servir la fosa de bronze, com en el cas de Carole Feuerman (n.1945) que policromà amb detall les escultures de nedadors, fins a l'extrem de reproduir amb realisme l'aspecte de la pell i dels accessoris del bany.

1.2.3.1.1_L'art povera i altres artistes italians

El cas de l'art povera té matisos força diferent; el Povera, fonamentalment italià, sorgit en la segona meitat dels seixanta i actiu durant bona part dels setanta, presenta una actitud matisada respecte a l'obra d'art. Les obres d'aquest corrent solen ser d'elements orgànics procedents de la natura (terra, sorra, troncs, branques, fulles, palla...), deixalles com diaris i roba vella, i altres materials com el plom, el vidre o la cera i objectes de caràc-

mitjà d'expressió, però també la fotografia, el vídeo o les denominades activitats tradicionals artesanes de les dones (Lippard, 1995; Shor et al, 1999).

ter variat com bombones de gas, galledes, testos, gresols reciclats, i fins i tot animals vius; encara que aquests artistes, també van fer servir, en les obres i instal·lacions, materials elaborats industrialment (barnilles i planxes de metall), i d'altres tradicionals de l'escultura (marbre, bronze...).

En aquest cas, són els materials quotidians els que van determinar el nom del corrent, assignat el 1967 pel crític d'art italià Germano Celant (1940-2020). El Povera pretenia confrontar-se amb els materials industrials de l'art nord-americà.

El arte povera nace con la voluntad de rechazar los iconos de los mass media y las imágenes reductivistas e industriales del pop y del minimalismo. Para ello apuesta por un modelo de extremismo operacional basado en valores marginales y pobres... De hecho el arte Povera puede considerarse como prolongación de la objetualidad ligada a la estética del desperdicio, como un ready made subecológico y romántico opuesto al hipertecnologismo de una sociedad deshumanizada. (Guash, 2000, pp. 125-126)

En paraules de Celant (1969) en relació amb els artistes d'aquest moviment:

What the artist comes in contact with is not re-elaborated; he does not express a judgement on it, he does not seek a moral or social judgement, he does not manipulate it.

He has chosen to live within direct experience, no longer the representative — the source of pop artists - he aspires to live, not to see. (p. 225)

Aquesta tendència està constituïda per un grup d'artistes força heterogeni i poc cohesionat⁵⁵ que van emergir en la Itàlia de finals dels seixanta, influïts per les propostes d'artistes com Piero Manzoni i Lucio Fontana i agrupats sota el manifest de Germano Celant "Apunti per una Guerriglia" que projectarà als seus participants en el marc internacional (Celant, 1967).

La repercussió de l'alumini en l'obra d'aquests artistes és pràcticament irrellevant, més encara si considerem la vinculació que aquest metall havia establert amb el període feixista ja comentat. Malgrat tot, alguns d'aquests artistes utilitzen aquest metall, diguem-ne de forma excepcional i d'ells en parlem a continuació. També afegim la peculiar visió de Giuseppe Penone en relació amb el bronze i les seves vinculacions cromàtiques amb la natura, per exposar un punt de vista que distancia l'autor de les aportacions de l'alumini. Per altra banda podem veure en aquest apartat dos artistes italians, esmentats en el catàleg "Alluminio. Tra Futurismo e Contemporaneità...", i no inclosos en el Povera, que mantenen la continuïtat de l'alumini amb certa assiduïtat

Giuseppe Penone

L'obra de Penone (n.1947) està estretament vinculada a la natura, amb la que conviu intervenint-hi plàsticament utilitzant diversos materials (troncs, pedres, fangs, vidre, materials orgànics com carabasses, patates, fulles, etc.). La fosa de bronze es fa present en múltiples obres

d'arbres, fulles i éssers antropomorfs absents. Per a aquest escultor el bronze té arrels en la concepció animista de la realitat, essent la similitud entre el bronze patinat i els vegetals el que el motiva en la seva utilització. En les seves obres fossilitza el vegetal, en conserva les aparences mitjançant l'evolució natural de la patina que transpira els verds de les fulles i de la molsa. Germano Celant exposa aquesta predilecció pel bronze de Penone, significativa en aquest context de l'alumini per a mostrar les motivacions per triar un metall de fosa o un altre.

La patina del bronzo; è il bronzo che con grande facilità traduce, fossilizza il vegetale, il gesto della sua crescita, e il colore dei suoi umori. Ammiriamo il paesaggio della patina del bronzo che non è né ruggine né colore ma trasuda dal metallo con la stessa naturale freschezza dei verdi, grigi, rossi, dei fogliami del bosco. Il metallo subisce gli elementi dell'aria, la pioggia, il vento, el cado del sole e da essi, come per i vegetali, è formato il suo colore. L'aria densa e compatta in perpetua tensione, mordente e sottile penetra nel bronzo e lo corrode, lo comprime ne fa apparire (fiorire) alla superficie il brillante splendore del paesaggio. (Celant, 1989, p. 156)

Penone no fa servir l'alumini, però ens aporta informació respecte a les raons per les quals opta per un metall i no per l'altre, evidentment aquest metall, l'alumini, no té la connotació vegetal observada en el bronze, que l'hi atribueix la possibilitat de ser patinat; per tant, en aparença, no hi ha cap altra raó de tipus qualitatiu, o relatiu al procés de fosa, que vagi en detriment de l'alumini.

55 Artistes com Piero Manzoni, Mario Merz, Marisa Merz, Michelangelo Pistoletto, Pino Pascali, Jannis Kounellis, Luciano Fabro, Gilberto Zorio i Giuseppe Penone.

Luciano Favro

L'artista i escriptor italià, Luciano Favro (1936-2007), malgrat que en els seus inicis va treballar amb una vessant conceptual, a finals dels seixanta es va associar al grup d'art povera liderat pel crític d'art Germano Celant. L'escultura ha estat l'àmbit de treball més determinant de la seva obra; aquesta va anar adquirint entitat autònoma al marge de l'etiqueta povera. Per altra banda des de 1983 va ser professor de l'Acadèmia de Brera, a Milà, on va residir fins a la seva mort.

Amb la seva obra va portar a terme replantejaments sobre l'obra escultòrica, considerant els límits expandits d'aquesta, amb reflexions sobre aspectes del classicisme històric, referències arquitectòniques i espacials freqüents, o altres recursos de contrast com transparència-opacitat, fragilitat-consistència, equilibri-pes, etc. Els materials són elements claus en el llenguatge de contrast, com per exemple quan conjuga materials tradicionals de l'escultura com el bronze amb cristall o tela. Jacinto Lageira (1989) hi troba cert paral·lelisme amb la jerarquia alquimista establerta per als materials, pel monjo franciscà Roger Bacon:

Les matériaux dont Favro fait usage se répartissent, grosso modo, en ductiles (cuivre, laiton, plomb, aluminium...) et résistants (acier, fer, bronze, bois...); d'autres, plus délicats à classer tel que la toile, le drap ou la peau d'animal, et enfin, un autre malaisé à concevoir si, comme le fait Favro, on lui ôte son support : la couleur.

Certains traits du travail de Favro entretiennent des similitudes frappantes (simple coïncidence?) avec l'Alchimie : des matériaux comme le cuivre, le plomb et le fer sont considérés. D'après la hié-

rarchie établie au XIIIe siècle par le moine franciscain Roger Bacon dans le *Speculum Alchimie*, comme impurs et imparfaits. Seul l'or est pur et parfait.... De même, Favro parle du plomb comme d'une matière morbide ; en effet, c'est une matière propre à la mélancolie et à Saturne, symbole du temps. Or, toujours selon Roger Bacon, le plomb n'a pas de couleur. C'est ce que l'on retiendra avant tout. Favro a toujours travaillé simultanément, quant il ne les a pas liés, des matériaux neutres (fer, bronze...) et des matériaux qu'il a colorés. Travaillés d'abord pour leurs couleurs et leurs lumières propres, les matériaux ductiles proposaient une dureté et une puissance qu'étaient à l'opposé de la texture des tissus. (Lageira, 1989, p. 103)

Les referències als períodes clàssics de la història de l'art apareixen amb obres resoltes en marbre d'aspecte funerari com *Lo Spirato*, realitzada entre el 1968 i el 1973 o en la *Colonna*, del 1984, columna clàssica que es converteix amb la seva resplendor marmòria, en una clara referència arquitectònica a les ruïnes del passat romà.

Una de les sèries més emblemàtiques d'aquest artista és la de les obres sobre Itàlia, iniciada el 1968, on presenta l'icònic element cartogràfic de la bota realitzat amb diversos materials com és ara el vidre, l'acer, el bronze o el cuir; l'obra *Italia d'Oro*, del 1971, un bronze daurat, cartografia en relleu del país que penjat a l'inrevés, al·ludeix amb aquest recurs metafòric a la situació política italiana del moment.

L'altra d'aquestes sèries representatives de la trajectòria de Favro, pot ser la més coneguda, és la dels *Piedi*, resolta entre el 1968 i el 2000; és

la sèrie en què més temps ha treballat. En aquesta, reprèn la temàtica de la columna en relació amb l'espai. Es tracta d'una obra monumental i si més no, de grans dimensions (quasi cinc metres d'alçada), amb bases-peus de formes i materials diferents de les que surten verticalment, a tall de camal de pantalons o de columna fràgil, tubs de teles de gran qualitat i colors variats.

Al Palau de Velázquez del Parque del Retiro de Madrid, es va poder visitar una exposició antològica sobre Luciano Fabro, el 2014, on es podien veure, entre altres, deu peces d'aquesta sèrie; cap de les presentades en aquesta exposició tenia el peu d'alumini malgrat que l'artista en va realitzar una, *Piedi*, del 1971, amb el peu de fosa d'alumini gris metal·litzat, com una variant de dues versions en bronze, patinades amb negre i verd, presents a l'exposició. L'obra es complementava amb una columna de seda blava. El contrast visual entre el gris plomis i neutre de l'alumini amb el color blau de la seda és més impactant si tenim presents l'aportació dels diferents tipus de peus de bronze de l'exposició; el classicisme d'aquests es perd enfront de l'aparença freda, quasi industrial de l'alumini. Resulta comprensible doncs la seva absència.

Marisa Merz

Marisa Merz (1926–2019) és l'única dona del grup dels povera torinès, considerat el grup d'artistes de Celant. *Living Sculptures*, del 1966, la seva primera obra, pot ser l'única peça en tot el grup construïda amb alumini. En aquest cas concret, amb làmines enrotllades, formant tubs llargs serpentejants, de vegades aixafats, penjats del sostre, component agrupacions. L'alumini manté el seu aspecte brillant platejat. La peça va

ser creada en el seu propi habitatge; la instal·lació, que va iniciar-se a la cuina, va anar agafant la forma d'una mena de paràsit que, a mesura que anava creixent, envaïa l'espai fins a arribar altres indrets de la casa. Aquesta obra remet a una de les temàtiques que va estar present en tota l'obra de l'artista: la relació entre allò sintètic i allò natural (Hontorio, 2018, par. 1-3; Merjian, 2017, pp. 94, 96)

It was a self-generated intrusion into and redefinition of their domestic space. The architecture of the house (Merz studied architecture, and had trained in ballet as well) became almost a living organism in constant flux, contracting and re-forming as Merz expanded the work. Revisiting documentation of the sculpture online (smaller, later, more tightly arranged iterations of the series are now in the Tate collection and have been shown at the Venice Biennale). (Basciano, 2020, par. 2)

Alfio Castelli

Itàlia manté un seguit d'artistes que recorren a l'alumini fos durant bona part de la segona meitat del segle XX. Entre els escultors nascuts a principis de segle trobem obra dels setanta i n'és un exemple Alfio Castelli (1917-1992).

Professor d'escultura en diverses acadèmies d'art d'Itàlia, va aplicar en les seves obres dels setanta i dels vuitanta materials tradicionals com el marbre i el bronze i ocasionalment, la fosa en alumini. Algunes de les formes geomètriques que el caracteritzen són l'esfera i el prisma (Pan-zetta, 2013, pp. 94-95, 120).

Varies de les seves obres en alumini com són *Incastri sferici II*, del 1970 i *Incastri sferici IV*, del 1971, amaguen a partir de les pàtines falses, l'aparència del metall; en canvi, una versió d'aquesta última i *Sfera nº 3*, les dues del mateix any, el 1971, llueixen el color de l'alumini polit.

Valeriano Trubbiani

Aquest altre italià, Valeriano Trubbiani (n. 1937), ha treballat de manera continuada en fosa d'alumini i tal com hem vist fins ara, no resulta gens freqüent aquesta dedicació persistent. En les obres dels setanta respecta el to gris i brillant, metal·litzat de l'alumini, mantenint el seu aspecte metàl·lic sense tractament superficial. Com altres artistes italians la vinculació amb la terra i la natura es convertiran en el centre d'interès de la seva escultura.

És recurrent en la seva obra la relació torturant entre l'home i els animals de l'entorn agrícola. *Stato d'assedio*, del 1972, és una instal·lació de pals metàl·lics amb escultures d'alumini als extrems de nombroses mans que atrapen tota classe d'ocells que estan emprenent el vol. El nombre d'elements que componen aquesta escultura se supedita al lloc d'exposició, arribant als 150 al Palazzo delle Esposizioni de Roma.

Batraci-cerniera rurale, del 1974, d'alumini i bronze, recorre als instruments agrícoles com eines opressives per l'entorn, exemplificat per la granota. *T'amo pio bove 4*, del 1976, d'alumini i acer, al·ludeix a les difícils condicions del bestiar agrícola. En les seves obres es percep la nostàlgia per l'àmbit rural sotmès a una realitat canviant. Amb les se-

ves escultures, sembla que pretengui congelar, amb alumini, els records d'infantesa. L'aposta per aquest metall contrasta amb els temes de la seva obra.

En una entrevista, realitzada amb motiu de la retrospectiva de l'artista "De Rerum Fabula", al gran edifici Mole Vanvitelliana d'Ancona (Itàlia), Trubbiani comentava:

Da ragazzo, la mattina, aiutavo mio padre a strigliare le 'gumère', cioè a ripristinare il taglio dei vomeri degli aratri, perché niente c'è di più corrosivo rispetto al solco disseccato che, inesorabilmente, lima l'acciaio. Questo è stato per me il primo suggerimento artistico da parte di mio padre che lavorava a cottimo, quasi gratuitamente, per i contadini che dopo la mietitura lo ricompensavano con un sacchetto di grano. (Trubbiani, com es va citar en Raffaelli i Scarabocchi, 2013, par. 7)

1.2.3.1.2_Els setanta, cap a una diversitat de propostes

Hem constatat una diversitat de propostes, tant entre els escultors que apliquen l'alumini de fosa (Agustín de la Herrán, Gironcoli i Subirachs) com entre els que fan servir tècniques constructives (Alfaro, Panamarenko o Shinoda), com veurem a continuació. Malgrat tot, trobem un element comú: conserven l'aspecte propi de l'alumini sense aplicació de color.

Agustín de la Herrán Matorras

L'escultor i advocat biscaí Agustín de la Herrán (n.1932), nascut a Bilbao,

es trasllada el 1955 a estudiar a Barcelona, a la, en aquells moments, Escola de Belles Arts de Sant Jordi. Escultor realista, amb més de mil cinc-cents escultures arreu del món, centrà la seva carrera en la producció d'escultura religiosa, retrats i medalles (López, s.d., p. 42).

La seva escultura més monumental, *La Virgen Inmaculada de Quito*, també coneguda com *La Virgen del Panecillo* o *Virgen de Quito*, fou construïda entre 1971 i 1975 i formà part de l'estratègia recatolitzadora presa per l'església en resposta a la situació políticsocial del moment.

Un entorno político tan complejo como el determinado por la Guerra Fría, las manifestaciones revolucionarias en América Latina tras el estallido de la Revolución Cubana, y las resistencias sociales de unas mayorías explotadas por la industrialización capitalista, exigieron un esfuerzo sistemático de las facciones católicas por mitigar los signos que perturbaban el orden establecido. (Sandoval, 2018, p. 51)

Aquesta verge d'uns 41 metres d'altura, si contem la base, és una de les escultures més altes de sud-americà⁵⁶ i la més alta realitzada en fosa d'alumini. Per a la seva execució, la peça monumental es fongué en 7.400 fragments que posteriorment, de Madrid, s'enviaren a Quito (Equador) (Lomas i Yáñez, 2020, p. 60). L'obra reflecteix aquest trencaclosques constructiu de retícula quadrangular.

⁵⁶ El *Cristo Redentor* o *Cristo de Corcovado* de Río de Janeiro mesura 38 metres d'altura.

Bruno Gironcoli

En el territori de la fosa en alumini als setanta, hem pogut localitzar altres artistes com Bruno Gironcoli (1937-2010) que ha estat un dels artistes més reconeguts d'Àustria i va esdevenir un referent clau per tots els escultors del país durant dècades. Va ser professor d'escultura i director de la Bildhauerschule de la Acadèmia de Belles Arts de Viena com a successor de Fritz Wotruba.

Conegut principalment per les seves obres escultòriques monumentals. En la dècada dels 60 va començar a crear obres amb el que seria el seu llenguatge personal, d'un estil inconfusible i sorprenent: escultures de grans dimensions, com estructures simbòliques barroques que semblaven sortir d'una pel·lícula de ciència-ficció, amb un caràcter futurista, exagerat i inclús podríem dir histriònic. Treballa agrupant en un conglomerat estructurat, objectes quotidians i industrials amb volums, símbols, animals, etc., donant com a resultat figures que es conjuguen en una espècie de maquinària surrealista que recorda les pel·lícules animades.

El seu treball sempre s'ha centrat en l'individu i els seus abismes; el sexe, la religió, el fracàs, la tortura i altres formes de violència s'expressen combinant objectes de la vida quotidiana, elements industrials, figures humanes i formes naturals. Les seves últimes obres parlaven del poder de la fertilitat i la sexualitat sadomasoquista. El seu ventall artístic és tan ampli que sempre ha estat difícil de catalogar-lo en un estil concret.

Els materials de les seves obres són el paper, la fusta, el polièster, el niló, el filferro, el ferro i l'estany, els quals recobreix amb pintura simulant

materials metal·litzats. Sovint acaba les seves obres amb una superfície brillant d'or, plata o bronze, accentuant el caràcter d'exageració tan personal.

L'artista va desenvolupar una part important de la seva obra en fosa d'alumini, de fet és un dels artistes que evidencia in treball continuat amb aquest metall que rara vegada pintava. Va reservar aquest recurs per a les escultures realitzades amb plàstics o resina de polièster, donant-les, d'aquesta manera, d'un aspecte diferent, podríem dir que d'una falsa noblesa. (Schuster, 2008, p. 7). En conseqüència, l'alumini fos no era un d'aquests materials que requerís ser pintat, sinó tot el contrari, segons Gironcoli: "Ich wollte die Figuren eigentlich aus Aluminium herstellen. Also musste ich etwas, was aus Gips war, so streichen, dass es zuerst einmal verblüffend nach Aluminium aussah. Das ist mir schon gelungen; viele Leute dachten, es wäre aus Aluminium" (Gironcoli, com es va citar en Brusse, 2008. p. 37).

Bruno Gironcoli aplica el color d'una manera molt escultòrica, és a dir, monocromàtica; així trobem obres completament grises, daurades, amb color coure o, com en el cas que hem comentat de l'alumini, deixant l'aspecte del material original. En els dibuixos treballa el color d'una manera similar al de les seves escultures.

Alguns exemples de la seva producció del seixanta en alumini fos en són *Soax Loop*, del 1966, *Form*, del 1968 i *Degegnung*, 1968-69; i dels setanta, *Ohne Titel*, del 1972-1973 i *Sarkophag*, del 1977-1979.

Ohne Titel (Gelbe Madonna), creada entre el 1975 i el 1976, és una peça

en la qual destaca l'element d'alumini fos sense pintar de la resta d'objectes pintats de color groc, fet que reforça el plantejament de l'artista en vers l'aplicació del color en certs materials.

En dècades posteriors seguirà treballant amb alumini, en petit i en gran format, essent la producció en aquest metall molt prolifera: *Figur X*, del 1984; *Brennendes Kind I*, realitzada entre el 1998 i el 1999; *Ein Körper, zwei Seelen*, del 2001; *Grosse Figur*, del 2004; *Emil*, del 2007; *Streichelähre IV*, del 2008; i varies de les peces anomenades *Ohne Titel*, realitzades en part als 90 i en part als 2000.

El 2004 es va obrir a la Regió d'Estíria (Itàlia), en el parc Schloss Herberstein, un Museu dedicat exclusivament a Gironcoli; un castell amb un jardí de més de 2.000 metres quadrats, on es poden veure les seves escultures monumentals, pintures i dibuixos. Una de les rèpliques de *Die Ungeborenen*, elaborada entre el 1996 i el 2004 i ubicada en aquest parc, és un exemple d'escultura d'alumini fos de gran format; una altra n'és *Wir Villacher Kinder*, resolta entre el 2003 i el 2004.

Subirachs

A la Barcelona de finals dels seixanta i principis dels setanta trobem alguns exemples d'art públic on s'aplica l'alumini fos. Josep Maria Subirachs (1927-2014), escultor esmentat anteriorment en l'apartat dels seixanta, crea algunes de les múltiples obres públiques amb esferes d'alumini; n'és un exemple, *Planeta*, del 1975, situada a l'Avinguda Diagonal de Barcelona, propietat de l'empresa Editorial Planeta que, com altres entitats, li van encarregar escultures emblemàtiques. Aquesta escultura

s'ha resolt amb tres elements, un de formigó, un d'acer i el nucli central d'alumini, amb uns quatre metres d'alçada. L'obra pertany a una sèrie dedicada a l'esfera, portada a terme entre el 1965 i el 1972, de la que en “teníem” un altre exemplar de juxtaposició de materials, formes i textures; en aquest cas també de formigó i alumini, en l'escultura *Al otro lado del muro* del Museo de Escultura de Arte al Aire Libre de La Castellana (Madrid); diem “teníem” perquè els elements esfèrics d'alumini, les boles, foren substituïdes, a causa dels actes de vandalisme, per unes de més soferes de pedra calcària, fet que difumina el contrast aconseguit anteriorment amb materials més diferenciats (Museo de Escultura de Arte Libre de La Castellana, 2017, par. 1-2).

Andreu Alfaro

També trobem altres artistes que fan servir l'alumini en la seva aparença metal·litzada i industrial, com és el cas del valencià Andreu Alfaro (1929-2012) que desenvolupa una escultura d'herència constructivista, en algun aspecte relacionable per la seva aparença de moviment, amb l'abstracció de l'Art Cinètic malgrat que no ho és. La seva obra respon al context social i polític del moment històric. En els seus treballs més coneguts, fonamentalment de caràcter monumental urbà, utilitzà barnilles metàl·liques, principalment d'acer inoxidable als anys 60 i d'alumini als 70, que articulà en rotació progressiva al voltant d'un eix generatriu.

Alguns exemples de l'escultura pública d'Alfaro amb barres d'alumini són: *La nostra victòria*, del 1967, de la col·lecció Alfaro a València; *Generatriu 1 [b]*, del 1971, ubicada a l'autopista del Mediterrani, a la província de Girona (Catalunya); *El molí*, del 1973, situada a Santa Cruz de

Tenerife; i a Barcelona podem trobar-ne dues d'aquesta època, *Bon dia llibertat*, del 1975, a la Fundació Miró i *Rombes bessons [b]*, del 1976, al Parc Cervantes (Alfaro, s.d.).

A Palma de Mallorca, s'ubica també en un espai públic, *Gran cercle negre [b]*, del 1976 i a Àlaba, *Adéu, Visconti*, del 1976; les dues realitzades amb alumini anoditzat.

Panamarenko

L'artista belga, Henri Van Herwegen (1940-2019), conegut pel pseudònim de Panamarenko, deixeble de Joseph Beuys⁵⁷ i de Marcel Broodthaers (1924-1976), es va dedicar a fabricar tota mena d'artefactes voladors que en general tenien dificultats reals per enlairar-se. Miller (2014), a propòsit d'una de les obres més importants de Panamarenko, *Das Flugzeug* (en ca. *L'avió*), del 1967, en la qual un tub d'alumini suportava tots els elements de l'"escultura-aparell", aporta: “what Panamarenko discovered in this work is not how he might fly — that is absurd — but rather how he might make the viewer's mind, and not the artist's body, take flight” (p. 129).

El mateix autor, reflexionant sobre la situació sociopolítica afegeix: “the work of Panamarenko responds to both the optimism and the insecurity of the 1960s and 70s” (p. 127).

És un artista polifacètic que recorda amb la seva actitud i amb les seves

57 Tractarem una obra de Beuys, en alumini, a principis dels vuitanta.

creacions als humanistes del Renaixement. No deixa de tenir precedents en l'actitud i en els projectes dels aparells voladors de Leonardo da Vinci, amb el *Letatlin*, del 1932, de Tatlin i amb el postminimal per la reivindicació del procés experimental en l'obra d'art. És el prototip de l'"artista bricoleur"⁵⁸ (Pirson, 1984).

Hans Theys (1992) relaciona la metodologia del bricolatge amb l'activitat artística: "Panamarenko est surtout intéressé par la conception et le bricolage des ses 'choses' et, d'autre part, il considère cette conception et ce bricolage comme une activité artistique" (p. 40); i, a més a més, aquest mateix autor compara el seu taller amb els "cabinets de curiosités assidûment constitués au 16eme siècle et qui son sont à l'origine de la science empirique moderne" (p 33).

En el seu procés creatiu, estudia tota classe de conceptes tècnics o biològics relacionats amb el projecte (Theys, 1992, p. 227); dissenya i construeix màquines relativament complexes amb diversos materials, inclòs l'alumini i artefactes prefabricats, prototips de prova i dibuixos que utilitzen la funcionalitat com un procés d'aprenentatge. Una motivació creativa arriscada, on el fracàs forma part de l'experiència lúdica. Panamarenko se submergeix en el procés d'elaboració de l'artefacte i sent l'impuls de provar el funcionament d'aquestes màquines, documenta l'acció com una aventura, amb ironia i molt d'humor.

Aquest escultor té un seguit d'obres experimentals força divertides entre

58 Jean-François Pirson, en el seu llibre "La structure et l'objet: essais, expériences et rapprochements", classifica a Panamarenko com artista referent en aquesta metodologia.

les que predominen els aparells amb ales; d'aquest tipus en construeix uns amb hèlix i uns altres amb ales d'insecte⁵⁹. *Piewan*, del 1975, és una mena d'avió petit, del tipus hèlixs, amb forma de bumerang o d'oreneta, construït amb planxes lleugeres d'alumini i projectat per a ser pilotat per una sola persona. Panamarenko també va fer servir l'alumini, de forma estructural, en altres obres posteriors com *Scoth Gambit*, del 2000, de 16 m de llargària i 6 d'altura, un vaixell volador reforçat amb plaques d'acer inoxidable, equipat amb dos motors d'avió Lycoming refrigerats per aire de sis cilindres i 370 cavalls. Malgrat el tema tractat, la construcció d'aparells voladors, l'alumini de perfils industrial no és un material freqüentment usat en les obres de Panamarenko; aquest material té un ús tardà. Donada la naturalesa constructiva de la seva obra, la fosa no participa.

1.2.3.1.3_El color en l'escultura d'alumini dels 70

En aquest apartat destaquen dos exemples significatius procedents del context nord-americà.

Claes Oldenburg i Coosje van Bruggen

La parella artística formada a partir del 1976 per l'escultor suec Claes Oldenburg (n. 1929) i la neerlandesa-estatunidenca Coosje van Bruggen (1942-2009), historiadora i crítica d'art i també escultora, van realitzar durant més de trenta anys, una quarantena d'obres públiques que con-

59 Altres formes recurrents per a Panamarenko són les inspirades en globus aerostàtics, zepelins, vehicles de propulsió o motxilles voladores.

trasten amb el concepte tradicional de monument, mantenint una trajectòria vinculada al Pop art⁶⁰.

En algunes d'aquestes obres participa d'una manera o altra l'alumini. Als setanta ja feien obra pública emprant l'estratègia del canvi d'escala dels objectes quotidians iniciada per Oldenburg en la dècada anterior. Exemples espectaculars ho són la pinça d'estendre, *Clothespin*, del 1976, materialitzada en acer patinable⁶¹ i en acer inoxidable, de quasi catorze metres d'alçada, ubicada a Filadelfia, Pennsylvania, i l'impressionant a la vegada que polèmica *Batcolumn*, del 1977; aquesta última, està inspirada en un bat de beisbol, mesura quasi trenta metres d'alçada i es troba ubicada davant de l'edifici Harold Washington Social Security Administration Building de Chicago, Illinois (Oldenburg i van Bruggen, s.d.-a).

Batcolumn resulted from manifold visual associations ranging from Chicago's fireplugs Adolf Loos's famed proposal for a building based on a Doric column (his entry in the 1922 competition for the Chicago Tribune competition). And naturally it is tied to the architectural impact of the city. (Celant, 1995, p. 377)

L'encàrrec de la *Batcolumn* sorgeix el 1975 arran dels programa "Art in Architecture" de l'Administració de serveis generals dels Estats Units en col·laboració amb la National Endowment for the Arts. Va ser una

60 El 1970 Oldenburg tingué una exposició al Stedelijk Museum d'Amsterdam, coordinada per la historiadora Coosje van Bruggen. Temps després es van casar i van formar parella artística. El primer treball data de 1976, *Trowel I*, però la primera escultura pública firmada conjuntament és *Flashlight*, d'entre el 1978 i el 1981.

61 Més conegut com a acer corten, nom que se li dona per la coneguda marca comercial Cor-Ten.

obra força qüestionada en aquell moment, que amb el temps s'ha convertit amb un element icònic de Chicago. La peça es va resoldre amb una estructura de malla triangular en acer, que recorda l'esquelet d'una construcció d'enginyeria.

Podemos encontrar otra cita de carácter arquitectónico en el Batcolumn. Aunque la escultura iba a estar formada por un enrejado romboidal... decidió que fuera recorrida por veinticuatro barras verticales exactamente el número de estrías que tiene una columna clásica. Este es, al final, el único elemento físico, junto con el toro de la base, que realmente identifica a la obra escultórica con el lenguaje arquitectónico de una columna. (Maderuelo, 1990, p. 147)

El *Batcolumn* té una base que es correspon amb el final del mànec d'un bat de beisbol, de geometria tòrica; és a dir, en forma de dònut, elaborada amb alumini de fosa. El tractament final del metall de l'estructura d'acer s'ha realitzat amb esmalt de poliuretà.

Alfred Lippincott comenta sobre la base d'aquesta peça: "we did fabrications of compound curves in the past, like for [Louise] Nevelson, but those were more sharply articulated... If you want it to be smooth, as a compound shape you have to cast it". (Lippincott, com es va citar en Lowinger, 2019, p. 115)

Aquesta parella va desenvolupar una àmplia producció d'escultures públiques també en les dècades següents. En unes quantes d'aquestes obres, que anomenarem a continuació, van utilitzar l'alumini i posteriorment el van pintar.

Split Button, del 1981, està emplaçada en un espai aïllat del campus de la Universitat de Filadèlfia, Pennsilvània, situada al pla de terra prop de la biblioteca Vant Pelt, des d'on s'ha previst que es pugui veure i davant de l'estàtua de Benjamin Franklin. Com si fos part del mobiliari, l'escultura inspirada en un botó, és perfectament accessible a l'alumnat, permetent fer-la servir per a descansar o jugar (Oldenburg i van Bruggen, s.d.-c).

La idea del botó va ser una proposta de Coosje, en contrast amb les abundants obres verticals de la parella; Oldenburg comenta en una entrevista: "It developed from an idea of hers, a button she found on campus, a broken button she picked up, the most inconsequential thing" (Oldenburg, com es va citar en Salisburg, 2010, par. 21).

Per a projectar la peça, van fer models de paper, poliestirè expandit i cartó, amb els quals van realitzar les pertinents provatures per aconseguir el plec trencat definitiu. D'aquesta manera, amb la dimensió volumètrica aconseguida amb la partició, el botó aconsegueix elevar-se lleugerament sobre el pla, adquirint una dimensió més accessible per als estudiants.

La primera idea del projecte va estar relacionada amb materials tradicionals, com el granet o la fosa de metall. Finalment, el primer disseny va ser de fusta i es va traduir en una construcció d'alumini realitzada a partir de preelaborats d'alumini, amb un diàmetre de quasi cinc metres i finalment, pintada de blanc (Celant, 1999, pp. 204-206).

Una altra obra dels vuitanta en alumini és *Hat in Three Stages of Landin-*

ng, del 1982, instal·lada al Sherwood Park de Salinas, Califòrnia. Salinas és una petita ciutat d'un cent mil habitants principalment dedicada a la producció agrícola i coneguda pels rodejos dels vaquers californians que fan servir el característic barret que dona forma a les tres peces. L'obra, seleccionada per l'agència National Endowment of the Arts, que amb el seu finançament promou l'art arreu dels Estats Units, incidint també en les petites comunitats, és una síntesi dels diferents tipus de barrets emprats en aquest "esport"; el conjunt escultòric consta de tres enormes barrets instal·lats a diferents altures del terra, com si fossin uns grans para-sols, amb la finalitat de representar un descens, una caiguda. Aquests barrets de cinc metres i mig de diàmetre, s'han resolt amb planxa d'alumini perforada i pintada amb un color groc palla (Oldenburg i van Bruggen, s.d.-b).

Screwarch, del 1983, és una altra de les obres dels vuitanta resolta amb alumini recobert amb esmalt de poliuretà. Està situada als jardins del Museu Boymans-van Beuningen, a Rotterdam, Holanda. El projecte va ser seleccionat per la direcció del museu per a portar a terme una versió més petita que les projectades per al pont, però encara així prou gran (aproximadament, quatre metres).

Stake Hitch, del 1984, es va fer específicament per a l'espai del Museum of Art de Dallas, Texas, on va estar instal·lada de forma permanent fins que en un determinat moment, la Direcció la va desmuntar. Consta de dues parts ben diferenciades: l'estaca, d'uns quatre metres d'alçada, de color vermell i la corda, penjada de la volta del sostre, d'uns setze metres, de color marró. La primera es resolgué amb alumini, acer, resina i pintura de poliuretà, i la segona, amb poliuretà, plàstic i resina amb fibra

de vidre, pintat amb làtex (Oldenberg i van Bruggen, s.d-d).

A les acaballes dels vuitanta, el 1988, la parella realitzà *Sponnbridge and Cherry* per al jardí d'escultures del Sculpture Garden, del Walker Art Center, Minneapolis⁶². Està constituïda per una cullera en horitzontal i una cirera situada a l'extrem, amb una cua que actua com a font del llac circumdant. L'obra s'ha realitzat amb acer inoxidable i alumini pintat amb esmalt de poliuretà.

Pel que fa al seu pas de la pintura a l'escultura i en relació amb les escultures pintades, Oldenburg diu el següent:

Paint is something that I use in all kinds of different forms.... Some people don't paint their sculptures, but I like to paint them. I think of it as more projecting color into space than about the practice of painting. (Oldenburg, com es va citar en Kino, 2011, p. 3)

George Sugarman

L'artista nord-americà George Sugarman (1912-1999), força prolífic i sense "afiliació" a cap isme, és conegut per les seves escultures de gran escala amb colors vius.

62 Al jardí d'escultures Sculpture Garden, del Walker Art Center de Minneapolis, es poden trobar obres rellevants d'escultors internacionals reconeguts com: Alexander Calder, Roy Lichtenstein, Sol LeWitt, Claes Oldenburg, James Turrell, Franz West, Louise Nevelson, Barry Flanagan, Mark di Suvero, Magdalena Abakanowicz, Isamu Noguchi, Richard Serra, Martin Puryear, Henry Moore, Mario Merz, Thomas Schütte, Gorge Segal, Tony Cragg, Lucio Fontana, Dan Graham, Siah Armajani, entre molts altres.

Acabada la Guerra, als 60, realitzà escultures de fusta, amb formes entre orgàniques i geomètriques, pintades amb colors atrevits.

In my sculpture, the color is as important as form and space.... It is used to articulate the sculpture.... Just as the form clarifies the space, the color works along with the form to help all these other factors along. (Sugarman, com es va citar en Day, Sandler i Davis, 1982, p. 32)

En la seva trajectòria va explorar l'horitzontalitat del pla de terra, creant escultures que s'expandeixen per l'espai circumdant, no en altura. Malgrat aquest interès, coincident amb el Minimal, va defugir dels plantejaments de la literalitat de l'objecte, considerant el poder simbòlic de les formes des d'un punt que anomena com maximalista.

A principis del 2004 va presentar, a la Washburn Gallery de Nova York, una exposició que titula "Exposició Painted Aluminum Sculpture, 1977-1996", on les obres construïdes entre finals dels setanta i principis dels vuitanta ocupaven l'espai. Va fer servir planxes d'alumini retallades i pintades per a fabricar aquests conglomerats (Sugarman i Lanchner, 2004).

Una de les obres que destacava en format sobre la resta és *Orange Around*, del 1978. Aquesta sigué l'obra més complexa de l'exposició; realitzada amb retalls de planxa d'alumini superposats i distribuïts de tal manera que es creaven obertures entre ells, *Orange Around* adopta una forma com d'embut (con invertit) que deixa circular la llum, provocant una interacció entre els espais. La metodologia de treball d'aquesta obra, com la de part de la resta, parteix de maquetes petites resoltes

amb cartolines retallades, doblegades i enganxades, generant espais en gelosia que permeten veure les diferents estructures successives de la construcció.

Aquest sistema d'ideació s'adiu a la perfecció amb la utilització d'alumini laminat en el moment de l'elaboració de l'escultura definitiva; l'alumini retallat, soldat o reblonat, en formes ondulants, també permet construccions immediates, transmeten aquest dinamisme entre ordenat i caòtic de formes serpentejants i entrellaçades.

El conjunt de les seves obres i el color d'aquestes, recorda la vivesa del Pop Art. La pintura acrílica recobreix l'alumini, en alguns casos diferenciant parts de l'escultura, com succeeix en *Untitled*, del 1982 i de vegades, generant uniformitat monocromàtica, com en el cas de *Wings*, del 1988 (Gelbert, 2004).

Sugarman també va realitzar peces per espais públics de grans dimensions com *Trio*, desenvolupada entre 1969 i 1972, d'alumini pintat de groc. La peça, un conjunt de formes arquejades, fou ideada per a promoure la interacció física de l'espectador; la seva ubicació a l'Empire State Plaza a Albany (Nova York), emplaçament molt transitat i seleccionat per l'artista; el seu plantejament compositiu i estructural, que invita a la participació, compleix amb escreix amb aquesta intenció. Una estructura d'alumini dèbil i el constant embrutiment del color, han provocat que l'escultura hagi hagut de ser restaurada freqüentment a causa del constant toqueteig, de la utilització com a estructura per a practicar acrobàcies amb el monopatí i la bicicleta i del vandalisme (Belman, 2002, pp. 58-61). *Trio* té una versió idèntica al Lynden Sculpture Garden, prop de

Milwaukee, a Wisconsin.

1.2.3.2_Els vuitanta

El context històric dels vuitanta amb les tensions polítiques inicials, el final de la Guerra Freda, la desintegració de l'URSS, el període econòmic expansiu amb les polítiques neoliberals i el pensament neoconservador, tindran amples repercussions en l'art d'aquesta dècada i de les següents⁶³.

La postmodernitat dels vuitanta es va donar en un context de relatiu ben-

⁶³ Al principi dels vuitanta van augmentar les tensions de la Guerra Freda amb el conflicte nuclear latent. Les polítiques encetades a mitjans dels vuitanta per M. Gorbtxov, davant dels problemes estructurals que presentava l'URSS, van rebaixar el conflicte amb un apropament. A finals dels vuitanta es va produir la caiguda del mur de Berlín i l'inici del desmembrament de la Unió Soviètica amb el final del règim comunista a Romania.

El terrible accident nuclear de Txernòbil exemplifica la fragilitat mundial front a aquesta mena de riscos, accentuats per les dificultats econòmiques dels països gestors o pels interessos brutals de les empreses com en el cas de la fuga de gas letal de Bhopal a l'Índia.

Els Estats Units i altres països del món van assentar les bases d'una economia neoliberal en aquesta dècada i en les següents, que a partir de la llibertat econòmica i de mercat, pretén la concentració de la riquesa en poques mans. Als vuitanta, als EUA, es van accentuar les borses de pobresa i la proliferació dels sense llar, agreujant les dificultats socials que arrossegava.

Continuà la guerra a Afganistan per l'ocupació soviètica. Alguns països asiàtics van experimentar un desenvolupament industrial ferotge. Al continent africà, es van succeir les epidèmies de fam degudes a la sequera; a Sud-àfrica finalitzà l'apartheid. Llatinoamèrica va patir les conseqüències de les polítiques de desestabilització i es van mantenir conflictes bèl·lics i terrorisme. Es va produir la caiguda de les dictadures, el retorn de la democràcia a Argentina i a finals dels vuitanta, els inicis de la transició a Xile. El conflicte latent d'Orient Mitjà es va reprendre amb la primera "intifada", la Guerra del Líban i la devastadora Guerra entre Iran i Iraq; aquesta darrera amb armes químiques i un milió de morts.

Es va expandir l'epidèmia de la SIDA, estigmatitzant determinades conductes sexuals obertes en dècades anteriors. Un nou impuls de les actituds neoconservadores.

Grans avanços tecnològics de repercussions futures impredecibles en aquell moment, com el PC i Internet.

estar socioeconòmic de les democràcies occidentals, va mantenir el qüestionament dels principis de progrés defensats per les avantguardes i va consolidar l'eclecticisme creatiu encetat cap a finals dels setanta amb el reciclatge històric, la revisió, l'apropiació i la simulació; va defugir els esquemes racionals sota l'impuls creatiu de les emocions, l'exuberància, la grandiloqüència o la trivialitat.

El model d'artista romàntic, d'avantguarda, de la primera meitat del segle o el militant o activista de la transformació social dels seixanta i setanta, va perdre vigència i es va substituir per l'artista integrat, eclèctic i productor d'objectes identificables amb la "marca-moda" de l'artista. Establint aquests paràmetres de valor comercial el sistema del negoci de l'art va promoure les "marques" per intentar estabilitzar les fluctuacions constants.

Els vuitanta va ser un període expansiu, d'excessos, on el mercat de l'art es va revitalitzar va haver un augment considerable de negoci al seu voltant amb grans formats, inversions milionàries, múltiples fires internacionals, nous museus i centres d'art.

Els artistes van adoptar estratègies de supervivència, recuperant gèneres i sistemes tradicionals de la història de l'art, al mateix temps que convivia amb el protagonisme de les aportacions recents del videoart o el videoclip. La diversificació observada als setanta i el protagonisme de les individualitats va prosseguir amb la classificació de la diversitat: neoexpressionistes, transvanguardia, apropiacionistes, simulacionistes, Neo Pops, graffitis, Neo-Geo, neobjetistes, neoconceptuals, activistes, art corporal, videoartistes, etc. En paral·lel, també es va desenvolupar una arquitectura

espectacular, classificada com a postmoderna, tardomoderna, High-tech o deconstructiva amb reflexos en l'escultura.

La postmodernitat evidencià un moment històric de manca de referents i de buit, moment esmorteït o maquillat amb creacions i productes estimulants.

Pero esta efervescencia prometedora resentiría un fuerte revés en los ochenta. Es en esta década cuando se presenta un giro conservador que, en gran parte, tiende a frenar el surgimiento de esas nuevas voces antes sojuzgadas por la cultura moderna. Tanto en Europa como en Estados Unidos, posmodernismo y neoconservadurismo comienzan a figurar de la mano al advertir el ascenso de aquellas -otras- voces como "una amenaza a la estabilidad e inviolabilidad del canon y la tradición". (Argüello, 2003, p. 9)

Anna Maria Guasch (1997) comenta, en relació amb les exposicions de finals de dècada, Metròpolis (Berlín 1991) i Biennial Exhibition (Nova York 1991), el seu caire panoràmic, afegint:

Se podía dibujar el paisaje de una década plagada de neos, en el que el interés por el hombre, por el sexo, por la religión y por la realidad se confundía con el interés por la naturaleza, la tecnología, la historia del arte, todo ello bajo el reconocimiento explícito a los tres de los más grandes creadores del siglo XX: M. Duchamp, J. Beuys y A. Warhol. (p. 368)

A conseqüència de l'evolució dels setanta, va sorgir una generació d'es-

cultors eclèctics en relació amb les pràctiques artístiques, siguin tradicionals o renovadores, que s'estengué en les dècades successives. Sobre el tema, Lewis (1986) opina:

En la década de los años setenta la práctica escultórica que predominó fue un desarrollo del formalismo que pretendía elaborar la teoría y comprobar las cualidades intrínsecas de la escultura a través de una exclusiva preocupación por el lenguaje del medio. (pp. 11-12)

Més endavant, referint-se als 80, el mateix autor afegeix:

En estos momentos la mayoría de los artistas parecen buscar una liberación de la historia, en el sentido de un desarrollo lineal y determinado, y, consecuentemente, se toma la libertad de asumir lo que quieran de la historia. (pp. 11-12)

Als 80 sorgeixen escultors d'àmbit internacional, amb un recorregut força curiós pel que fa a la pràctica, absolutament diversa, de processos; podem posar com a exemple els escultors anglesos: Richard Long (n.1945), Andy Goldsworthy (n.1956), David Nash (n.1945), Richard Deacon (n.1949), Barry Flanagan (1941-2009), Bill Woodrow (n.1948), Antony Gormley (n.1950), Anish Kapoor (n.1954) o Tony Cragg (n.1949). Alguns d'aquests han evolucionat, des de posicions on predominava l'objecte reciclat i la instal·lació, cap a la fosa en bronze o l'elaboració monumental metàl·lica; el bronze s'ha convertit, en alguns casos, en una eina fonamental de la seva producció, però no la fosa d'alumini, que continua tenint una repercussió menor.

També en aquesta època es donen a conèixer artistes, com els alemanys Markus Lüpertz (n.1941), George Baselitz (n.1938) o A. R. Penck (1939-2017), que treballen la pintura i l'escultura des d'una nova perspectiva expressionista i en sintonia amb la tradició.

1.2.3.2.1_L'escultura d'alumini als 80

Els escultors de generacions precedents que feien servir la fosa circumstancialment als setanta, als vuitanta van mantenir aquesta activitat i es dona la circumstància que fonen alguna de les seves peces en alumini uns exemples els tenim en dos artistes paradigmàtics, Joseph Beuys i Magdalena Abakanowicz, els quals exposem a continuació, alfabèticament, amb d'altres de significatius.

Magdalena Abakanowicz

L'escultora polonesa Magdalena Abakanowicz (1930-2017) es va projectar internacionalment, als 60, amb tot un conjunt d'obres de tapís de grans dimensions, suportades per estructures de metall, que va titular *Abakan*. Els treballs amb materials tèxtils van continuar als setanta, utilitzant teles aspres com l'arpillera en la sèrie de *Heads* o en les instal·lacions com *Embryology*, d'entre 1978 i 1988, amb gairebé un centenar de paquets de tela de sac, cosits en diverses volumetries, als que donava formes ovoïdals.

Les carcasses de figures humanes sense cap es feren presents a mitjans dels 70 i es tornaren elements emblemàtics de la seva obra; d'aquests "cossos", seguint amb el tèxtil i la resina, trobem *80 Backs*, elaborada

entre 1976 i 1980, amb tal com indica el títol, 80 exemplars de figures assegudes o amb fosa de metalls, *Space of Becalmed Beings*, del 1993, a raó del memorial de les víctimes d'Hiroshima.

Així doncs, cap a mitjans dels 80, Abakanowicz va prendre contacte amb la fosa de metalls, treballant una sèrie de registres de rostres amb bronze. El metall fos es va anar alternant amb altres materials, però va constituir un gruix rellevant de la seva obra, especialment en la de caràcter públic. Entre el 2005 i el 2006 realitzà *Agora*, en fosa de ferro i pàtina ferruginosa, que és instal·lada al Grant Park de Chicago; 106 carcasses de figures humanes sense cap, de més de 3 metres d'alçada, que deambulen agrupades.

En alumini fos executà també algunes obres d'aquesta tipologia com *First Unknown Figure*, de 1983, de grandària natural, va mantenir el to gris opac i esmorteït de l'alumini. A diferència de les obres en bronze o en ferro fos, no va rebre cap mena de tractament de color. En alumini fos també realitzà un conjunt d'ocells de grans dimensions, *Birds*, realitzats entre 1998 i 1999, de quasi tres metres de volada, situats sobre barres de metall que enlairen les peces d'alumini. D'aquesta sèrie és l'obra *Birds of Knowledge of Good and Evil*, de 2001, ubicada a Wisconsin. També en alumini podem veure una mena de crani d'ocell, del que ha fet diverses versions amb retalls de planxes soldades i amb fosa de bronze. El crani d'ocell d'alumini fos, *Skull III*, del 2000, d'una longitud propera als 5 m i una alçada de gairebé 2,5 m, presenta un aspecte metal·litzat i brillant que destaca la textura rugosa aconseguida amb el material de modelatge.

Siah Armajani

L'artista iranià Siah Armajani (n.1939), resident als EUA des dels seixanta, fa obres amb un alt contingut social i polític de compromís amb la democràcia. La seva obra té un component constructiu arquitectònic, resolt amb multitud de petites maquetes, que de vegades transcendeixen en art públic (Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía [MNCARS], 1999, par. 2).

Resulta força coneguda la sèrie de ponts, iniciada a finals dels seixanta, on pren com a models els ponts nord-americans del s. XIX. Els petits models tenen una dimensió objectual que transforma rotundament quan els converteix en obra pública; encara que la sèrie de ponts cobreix sis dècades de la producció d'Armajani, n'és un exemple *Brige Over Tree*, del 1970, instal·lada al Brookly Brigge Park de Nova York (Stock, s.d., par. 3), d'aquesta sèrie n'hi ha algunes versions dels setanta.

També desenvolupa un conjunt d'obres basat en el mobiliari urbà i arquitectures senzilles de caràcter social de les que en realitza nombrosos exemplars, com la sèrie d'espais públics per a la democràcia (Martínez, 2006, p. 214).

Un ejemplo particularmente interesante de “arte público” lo encontramos en The Louis Kahn Lecture Room construido en 1982 en Filadelfia por Siah Armajani. La institución Samuel Fleicher Art Memorial, de Filadelfia quería honrar la memoria del arquitecto Louis I. Kahn que había estudiado arte en esa institución. Siah Armajani, que tiene un gran aprecio por la arquitectura y muy particularmente

por la figura de Louis Kahn respondió a esta sugerencia realizando un aula de lectura como antimonumento conmemorativo de la figura del arquitecto. (Maderuelo, 1990, p. 166)

La participació molt secundària de l'alumini la podem veure en unes poques obres com les maquetes de petites dimensions, *House no. 6*, del 1973, amb fusta de balsa, alumini i plàstic o com també en escultures com *Picnic for Two with Podium*, del 2000, amb plàstic reciclat, alumini i acer inoxidable o *Elements #16*, realitzada entre 1985 i 1988, d'acer, alumini i fusta pintada.

L'alumini, en les obres d'Armajani, sol ser un element estructural que interactua amb la fusta o altres materials molt puntualment en un nombre limitat d'obres.

Joseph Beuys

L'artista alemany Joseph Beuys (1921-1986) és considerat un dels artistes més rellevants dels setanta; fins i tot, del s. XX; el seu àmbit cronològic se situa entre les accions performatives de Fluxus, l'Art Pòvera europeu i l'Art Processual americà que hem vist en l'apartat anterior.

L'apport essentiel à la sculpture innovatrice des années soixante a été fourni du côté américain par l'art minimal et ce qu'on appelle le post-minimal, du côté européen par Beuys, l'Arte povera et l'œuvre de quelques autres artistes. (Meyer, 1986, p. 305)

Beuys, participà en la Segona Guerra Mundial on és ferit; com a soldat

d'aviació patí un greu accident que determinà en gran part la seva vida i la seva obra.

Un cop acabada la guerra estudià escultura; la dècada dels cinquanta va ser un període de crisi personal profunda. Beuys visqué el procés de recuperació d'Alemanya participant dels esdeveniments socials i culturals de les generacions joves dels seixanta amb la seva actitud activista i controvertida es convertí en un dels artistes paradigmàtics dels setanta.

A principis dels seixanta, va ser component del grup Fluxus, caracteritzat per la barreja de mitjans (performance, vídeo, música, literatura, etc.), l'activisme polític i la crítica al mercantilisme de l'art. Es va interessar reiteradament pels corrents artístics que es duïen a terme al continent americà, però va defugir els purismes impersonals, apropiant-se d'aquells trets que li eren útils en el seu pensament escultòric. Es va moure amb comoditat entre accions, dibuixos, materials, objectes i obres que li permetien expressar la seva visió de l'art com agent de renovació social amb una projecció pedagògica. Influït també per corrents de pensament romàntic i a causa de la seva inclinació personal, connectà intensament amb la revalorització de la natura i dels éssers vius (López, 1995, p. 369).

Objectes de diversa índole mantenen una presència substancial en l'obra de Beuys. És inevitable relacionar els objectes que Beuys agrupava en vitrines amb els precursors d'aquesta pràctica, els ready-mades de Duchamp a qui admirava, però en Beuys, l'objecte es va convertir en una mena de testimoni de l'acció escènica, considerant-lo igualment obra d'art. L'artista va recórrer a la capacitat d'evocar i de transmetre la força

energètica d'aquests elements, objectes i materials.

Les objets de Beuys se présentent généralement comme des traces de gestes vitaux e symboliques ou comme des résidus d'opérations mentales et d'actions.... Les formes sont déterminées conjointement par l'événement rituel au sein duquel ils remplissent une fonction et par la structure organique du matériau brut choisi, laquelle engendre naturellement des formes que lui sont propres. En tant qu'instruments rituels en puissance, ces objets réunissent en eux différentes strates de temps, du fait qu'ils renvoient à des schémas de pensée e des vestiges archéologiques, ainsi qu'à des éléments d'histoire personnelle et collective et à la réalité immédiate de l'événement lui-même.... Ce que Beuys a préféré formuler ainsi: "Mes objets doivent être considérés comme des stimulateurs pour la transformation de l'idée de sculpture, ou d'art en général. Ils doivent susciter des réflexions sur se que peut être la sculpture...". (Rowell, 1986c, p. 209)

L'espectador es veu forçat a reflexionar aplicant una percepció simbòlica, poètica, complexa i polivalent per a apreciar les obres.

La diversitat de materials que Beuys utilitzà en les seves accions i en les seves instal·lacions foren escollits per la seva relació biogràfica amb l'artista i per la capacitat de transmetre qualitats intrínseques de caràcter simbòlic, com la capacitat d'aïllar, de guarir, de generar energia o de conduir-la.

Beuys se inclina por el uso repetitivo de materiales que por sus

cualidades físicas revelan significados metafóricos, como lo hacen el fieltro, la grasa -ambos materiales usados por los tártaros durante el episodio de salvación en Crimea- y la miel. (Guasch, 2000, p. 155)

Beuys va mostrar un interès reiterat per les peces de fosa tant per la tradició industrial alemanya com pel simbolisme demiúrgic del fonedor, alquimista o xaman, implícit en bona part de les seves accions. Els metalls aporten al seu llenguatge escultòric la solidesa, l'entitat metàl·lica i amb freqüència, la capacitat de mostrar-se com a elements conductors o disruptors d'energies físiques o metafòriques.

La presencia del metal en la obra de Beuys tiene dos dimensiones: una metafórica, como transformación de materia y energía mediante el calor y como conjunción de elementos distintos en un todo unitario. En la otra, que constituye su utilización práctica y procesual, los metales son seleccionados por sus cualidades intrínsecas y por las asociaciones que pueden conllevar con aspectos afines a su teoría escultórica; por ejemplo, por su capacidad como conductores de la electricidad o como aislantes, y por sus cualidades táctiles, color, densidad, peso, etc. (Bernárdez, 1999, pp. 31-32)

En *Fond VIII/2 (Fast Battery)*, instal·lació realitzada entre 1967 i 1984, corona vuit piles de diverses altures, formades per l'acumulació de làmines quadrades de feltre amb planxes de coure del mateix format, que comunicà entre elles amb elements del mateix metall; aquesta mena de bateria està dotada d'un material acumulador, el feltre i un material conductor, el coure, conceptes que l'artista utilitzava per associar idees

científiques amb espirituals i a l'energia creativa. Tot i que les seccions quadrades d'aquest tipus d'obres poden recordar al minimalisme, el rerefons és absolutament divergent. El ferro fos, rogec a causa de la seva oxidació, és associat a la sang i a la indústria alemanya, depenent de l'obra. El plom, com en *Schmerzraum*, traduït al català com "Sala de dolor", de 1983, és usat com un metall d'aïllament, aclaparador i clausotrofòbic (Bernárdez, 1999, pp. 31-32).

En l'obra de Beuys sols hem trobat una peça d'alumini fos, en una de les darreres instal·lacions, ja a principis dels vuitanta; *Lightning with Sag in its Glare*, del 1982; és l'únic entorn que planteja amb fosa de bronze i alumini. Aquesta instal·lació de 42 elements es va exposar en diversos indrets: a la vigèsima Biennial de Sao Paulo de 1982; parcialment, a la Royal Academy of Arts de Londres el 1985; completa, al Museum of Contemporary Art de Los Angeles el 1986; a la Documenta 8 de Kassel el 1987 i finalment, en l'exposició sobre Beuys a Berlín el 1988. Sens dubte és una de les darreres obres més importants de l'artista alemany (Gallwitz, 1989, p. 5).

El muntatge s'originà arran de l'exposició de Zeitgeist, de 1982, duta a terme a l'edifici Martin Gropius on va construir els primers monuments de cérvols. Consta de diversos objectes reciclats i elements de fosa, entre els quals trobem: "Goat" (en cat. *cabra*), una carreta d'una foneria amb un pic clavat; "Lightning" (en cat. *llampec*) forma triangular que sorgeix d'una muntanya d'argila apilada al bell mig de la sala d'exposicions de l'edifici del Martin Gropius; els "Primordials Animals", xurros d'argila retorçada, com a metàfora de la natura i la peça "Stag" (en cat. *cérvol*) l'única d'alumini fos de la instal·lació i com hem comentat, creiem que

també l'única del conjunt de l'obra de Beuys. Segons Heiner Bastian (1989), qui va ser el responsable de muntar aquesta instal·lació per encàrrec de l'autor:

Beuys decided to have the "Stag" cast of lightweight of the single parts as technically as possible. The sculpture had to be cast with walls whose extreme thinness was visible from outside; it was to look very light, as if someone had draped a fragile model with silver foil (J.B.): The bright reflection of an imaginary flash of lightning... Never has this artist counted on colour, the bronze or, as in this sculpture, the aluminium casting to connect the most different textures and structural supports. (p. 26)

En opinió de Bastian (1989), la cabra és un motiu central i recurrent en l'obra de Beuys i el cérvol, situat entre els animals primordials, és un arquetip de les profunditats de la psique humana, una ombra uniforme i brillant (p. 26).

Aquesta instal·lació ens remet a un món en crisi on l'home, perdut en una situació de decadència, descomposició i ruïna, on els símbols de la natura, els animals mítics il·luminats per un raig de llum i els materials foscos de la terra, es debaten en conflicte.

Beuys ignorà l'alumini en la seva obra malgrat la seva capacitat com a material conductor; sigui per la seva coloració, la seva baixa densitat, pel seu caràcter tecnològic, industrial i urbà o per altres raons circumstancials. En tot cas, no tenim aquesta informació. El què sabem és que en aquesta ocasió exclusiva, Beuys, segons Bastian (1989), escull l'alumini

probablement per la seva brillantor grisa i metal·litzada, característica que li permet establir el paral·lelisme d'una visió mítica del cérvol en mig de la foscor de la nit, sota una tumultuosa tempesta, lleuger i brillant, com un ésser mitològic beneït per l'acció esfereïdora d'un llampec.

Jochen Gertz

L'artista alemany Jochen Gertz (n.1940), de tall conceptual, resident primerament a França i actualment a Irlanda, treballa temes relacionats amb la memòria històrica amb procediments diversos, com són la fotografia, el vídeo, el llibre d'artista, la instal·lació, la performance, l'obra pública o els textos amb la finalitat de fer una aportació social a la participació democràtica. Gertz defineix la seva producció “como ‘una participación para hacer público un secreto que cambiará el presente’” (Gertz, com es va citar en Nielsen, 2008, par. 3).

Ha realitzat un seguit de monuments en places públiques com *Tilted Arc i House i 2146 stones - Monument Against Racisme*, tots dos del 1993. A Hamburg, el 1984, Gertz va rebre l'encàrrec de portar a terme, amb la col·laboració de la seva dona Esther Shalev, el *Monument Against Fascism*, contra el racisme, la guerra i la violència i a favor de la pau i dels drets humans. El projecte, realitzat el 1986, ens el descriu Brandon Taylor (2000) a continuació:

Estaba claro desde el principio que no podía ser una mera imagen de propaganda o con mensaje: en lugar de ello, los artistas idearon una columna hueca de aluminio, de 14,6 m, cubierta de plomo, en cuya sección más baja los transeúntes podían hacer una inscrip-

ción con una punta de acero. Periódicamente se iba hundiendo el pilar y se exponía una nueva superficie, hasta quedar totalmente enterrado, excepto la superficie superior de finales de 1993. Mientras. La columna se iba cubriendo con graffities de todos los tipos, incluyendo raspaduras, quejas, mensajes de esperanza y desesperación. El Hamburger Rundschau calificó las marcas resultantes de aprobación, odio, ira o estupidez, como ‘las huellas dactilares de nuestra ciudad aplicadas a la columna. (Taylor, 2000, pp. 138-139) Taylor, B.: Arte Hoy, Ed. Akal, Madrid, 2000

Com comenta Taylor, el Monument va rebre diversos tipus de participacions, entre les quals destaquen les més agressives com són els trets i els intents d'arrencar la làmina de plom. L'escultura, que estava programada perquè cada any s'enfonsés uns dos metres, es troba totalment enfonsada des del 1992, quedant només visible, arran de terra, la superfície de la seva part superior (Nielsen, 2008, par. 8-9).

Pel que fa a l'alumini, en aquest cas la columna sembla tenir una funció plenament estructural.

Alain Kirili

L'escultor i teòric de l'art, francès i nord-americà d'acollida, Alain Kirili (1946-2021), és conegut pels seus treballs amb barres de ferro verticals forjades a intervals regulars; malgrat aquesta referència, la seva producció artística ha estat força variada utilitzant diversos materials com el zinc, l'argila cuita amb la qual realitzà una ampla producció, el formigó amb peces monumentals, estructures de filferro, etc. Als setanta, en el

context del postminimalisme, va desenvolupar amb la col·laboració del taller de l'artesà de prestigi Florian Unterrainer, les primeres peces de l'obra de ferro que el van caracteritzar (Institut Valencià d'Art Modern [IVAM], 2003; Kirili, s.d.).

L'artista va destacar la influència de l'expressionisme abstracte i la motivació inicial de David Smith en la seva dedicació a l'escultura. L'acció gestual de l'orient expressionista es transformà en els seus treballs de ferro forjat, amb cops secs sobre el metall roent que transformaven el recorregut vertical de les seves obres. De la relació de la forja amb la calligrafia xinesa i japonesa, Kirili comentà:

Dans l'exécution de mon œuvre, je vis cette célérité d'exécution, de l'édentation du marquage du métal qui n'est incandescent, donc malléable, que quelques instants. La situation nécessite d'autant plus une concentration parfaite que le métal n'offre pas de corrections possibles. Le geste du marteau ayant repoussé le métal ne se corrige pas. Le geste peut être éventuellement amplifié provoquant une édentation plus profonde dans la matière, mais la surface et le volume du fer ne peuvent être ramenés à l'état antérieur du martelage. Cet aspect ultime d'un instant de concentration privilégiée se retrouve dans le mode même d'exécution de la calligraphie. (Kirili, tal com va citar en Sollers, 1983, par. 7)

L'escultor executà obra pública amb ferro, com les 17 peces del Jardin des Tulleries de París, titulades *Grand Commandement Blanc* on, amb les múltiples peces de metall pintat, modificà el format vertical habitual per l'horitzontalitat de la instal·lació enjardinada.

El 1986 inicia un treball força peculiar amb grans blocs d'alumini als que va sotmetre, en un dels seus extrems, a un tractament similar a l'executat sobre el recorregut lineal de les barres de ferro; la pressió de la premsa fa esclatar l'extrem del bloc d'alumini, esmicolant-lo i obrint-lo com si fos una flor metàl·lica. De finals d'aquesta dècada són els diferents "Kings", també *Symphonie des Psaumes*, de 1988 i *Delos*, de 1989. Amb aquestes obres d'alumini va realitzar, el 1993, una exposició al Museu d'Art Modern de Sain Étienne.

Alain Kirili mantingué l'aspecte metal·litzat de les columnes i de l'alumini esmicolat. L'extrem ennegrit de les columnes delata l'acció tèrmica de la forja i de vegades, aplicà color en algun dels prismes inferiors que actuen com a base. En tot el recorregut realitzat, aquest és el primer escultor que tracta l'alumini d'aquesta manera, distorsionant la forma prismàtica amb la forja.

Arnaldo Pomodoro

Pomodoro (n. 1926) és un artista italià amb un recorregut expositiu molt intens i amb una gran producció durant tota la seva carrera iniciada a principis dels cinquanta.

Ha dedicat el gruix de la seva obra a tractar les formes pures com l'esfera, el cilindre, el disc, etc.; formes polides i brillants, foses generalment en bronze, encara que de vegades també ha fet servir altres materials com les resines. Aquestes figures geomètriques són esclatades per estructures internes intricades que recorden naus espacials de pel·lícules de ciència-ficció.

Amb alumini fos, hem localitzat algunes obres de finals dels vuitanta. En *Scettri*, conjunt escultòric realitzat entre el 1987 i el 1988, utilitzà alumini i bronze per a recollir l'aspecte complex i geomètric que habitualment ocupa l'interior de les seves obres esfèriques, remetent-nos al tipus de filmografia esmentada. Una obra diferent de l'anterior, però materialitzada en el mateix interval temporal és *Rive dei mari*, del 1988, amb un referent comú amb altres autors italians: la natura.

En relació amb aquesta última escultura, Pomodoro comenta:

Negli Scudi e nelle Rive dei mari, ritengo, si siano depositate sia le suggestioni dell'osso di seppia, con la sua straordinaria valenza elementare e pura, sia l'immaginario che ci viene dato dalla superficie del mare, dal suo moto, dalla sua spiaggia – e anche altri motivi: la veste, la ricezione della luce, il guscio stesso come scudo, la proiezione fantastica della mente nel sonno. (Pomodoro, com es va citar en Fondazione Arnaldo Pomodoro, s.d., par. 1)

1.2.3.2.2_El color en l'escultura d'alumini dels 80

Karel Appel

L'artista holandès Karel Appel (1921-2006) es va dedicar, durant una carrera de més de sis dècades, profusament a la pintura, com també al dibuix i a l'escultura i en determinats períodes a partir dels vuitanta, a l'escenografia i la poesia.

Inicià la seva trajectòria després de la Segona Guerra Mundial; va ser

fundador del grup Cobra (1948-1951), junt amb altres artistes holandesos, moviment que van tenir una bona rebuda a Dinamarca, però no als Països Baixos on va ser ben acollit a partir dels noranta. Cobra va proposar un esforç de síntesis en el debat entre abstracció i figuració, basant-se en l'espontaneïtat, el primitivisme, l'art infantil o de malalts mentals i la violència gràfica.

Appel utilitzà un grafisme espontani, que recorda els dibuixos infantils i l'art primitiu de determinades cultures, amb influències de Matisse, Picasso i Dubuffet. Des dels anys cinquanta es dedicà a l'escultura fent servir abundants materials i a partir dels setanta començà a realitzar obres de grans dimensions, acolorides amb blanc, vermell, groc, blau, verd i negre. El contrast de les formes volumètriques en uns casos o de les seccions industrials de fusta o metàl·liques en altres, genera amb els colors, en funció del moviment de l'espectador, ritmes canviants. En les obres construïdes amb planxes s'observa immediatament la relació amb la seva pintura, per la planitud de les peces i la coloració.

En alumini va fer diverses obres de caràcter constructiu amb seccions metàl·liques laminars. Un exemple de 1989, *Mousse on a Table*, segueix la línia marcada amb les múltiples obres de referència a animals. Sobre aquesta obra va aplicar colors vius amb esmalt acrílic.

A la Universitat de Borgogne, a l'entrada principal del campus de Dijon, el 1976 va instal·lar *Anti Robot*, la seva obra en alumini de dimensions més grans, 6 x 3,50 x 4,76 m i 4 tones de pes⁶⁴. Va ser construïda entre-

64 Franz W. Kaiser (s.d.), autor de la cronologia de l'artista per a la Fundació Karel Ap-

creuant plans per tal de generar imatges dispars depenent del punt de vista de l'observador. Aquesta obra presenta un personatge simpàtic, de colors cridaners, que saluda al visitant; va estar lacada amb tons vius de blau, groc i negre, aconseguint un acolorit que li dona una imatge dinàmica i alegre pròpia de l'art ingenu dels nens.

Seward Johnson

J. Seward Johnson (1930-2020) és àmpliament conegut per la seva escultura d'alumini fos *The Awakening*, del 1980, una instal·lació de 21 metres que representa un gegant que en posició horitzontal i boca amunt sorgeix del terra.

També fou l'autor d'altres peces realitzades en bronze i alumini fos en les quals aplicà un tractament de color a partir de pintura; en moltes d'aquestes, representa escenes de la vida quotidiana (sèrie *Celebrating the Familiar*), on els personatges, gràcies a la naturalitat de la seva postura i a l'acabat cromàtic, es mimetitzen amb els vianants.

A principis del segle XXI, centra la seva atenció a representar o reinterpretar, personatges icònics, altres obres d'art o moments emblemàtics (sèrie *Icons Revisited*). En les ocasions en les quals aquestes escultures cobren dimensions monumentals opta per utilitzar l'alumini fos, com ja va fer en l'escultura abans anomenada, *The Awakening*.

pel, confirma que aquesta obra va ser realitzada en alumini: “[1976] Realizes a monumental aluminum sculpture for the University of Dijon” (par. 69).

En *God Bless America*, del 2012 i de 4,30 metres d'altura, extrau del quadre *American Gothic*, del 1930, del pintor Grant Wood (1891-1942), els personatges que s'hi representen i amplia els límits del llenç completant els fragments de la imatge que no es mostra, per tant, aportant nova informació al contingut.

Pertanyent a aquest tipus d'escultures de grans dimensions en alumini fos i posteriorment pintat, *Forever Marilyn*, del 2011; peça de 8 metres d'altura i 15 tones de pes, basada en la famosa fotografia on apareix l'actriu Marilyn Monroe, en actitud seductora, parant amb els seus braços l'ascens de la seva faldilla a conseqüència del corrent d'aire provinent de la reixa de ventilació del metro⁶⁵.

Unes altres escultures que també centren la seva atenció en una fotografia són les que pertanyen a *Unconditional Surrender*, també conegudes com a *Embracing Peace*, una sèrie, de la qual la primera obra es realitza el 2005, basada en una fotografia de la revista LIFE, on apareix una parella, ell vestit de mariner, donant-se un efusiu peto⁶⁶. Essent els exemplars d'aquesta sèrie inicialment de bronze pintat, posteriorment se n'executaren algunes, de grans dimensions (fins a 7 metres d'altura), en

65 La fotografia va ser realitzada per Bruno Bernard, també conegut per *Bernard of Hollywood*. L'escena pertany a la pel·lícula *The Seven Year Itch* (traduïda al castellà per *La tentación vive arriba*), dirigida per Billy Wilder el 1955.

66 El fotògraf que va captar la imatge va ser Alfred Eisenstaedt el 14 d'abril de 1945. La fotografia anomenada *V-J Day in Times Square*, per haver-se pres el “Dia de la Victòria sobre el Japó” en el context de la Segona Guerra Mundial, també és coneguda per *V-Day* i *The Kiss*. Segons Johnson, la seva escultura no es va basar en aquesta fotografia en concret, sinó que la seva inspiració va sorgir d'una altra imatge, similar a la d'Eisenstaedt, però de domini públic, realitzada el mateix dia i en la mateixa escena per Victor Jorgenson. (Reeves, 2020, pp. 1-2).

alumini fos també acolorat. (Seward Johnson Atelier, s.d.; Grounds for Sculpture, 2015, s/d; Adelson, 2020).

David LaPlantz

L'artista i docent David LaPlantz originari de Toledo (Ohio), resideix des del 2005 a Santa Fe (Nuevo México).

Ha compaginat durant més de 30 anys la docència amb la producció artística, exercint de professor de joieria i orfebreria en diverses universitats estatunidenques; essent a la Humboldt Estatal University de Califòrnia on va finalitzar el seu recorregut docent.

Té peces de joieria i orfebreria en diverses col·leccions com la del Schmuckmuseum de Pforzheim (Alemanya); la del Museum of Arts and Design de Nova York; a la del National Museum of American Art, Smithsonian Museum de Washington o la National Museum of Modern Art de Kyoto.

El 1988 va escriure el llibre sobre l'anoditzat aplicat a l'escultura d'alumini en formats de forja, "Artists Anodizing Aluminum, The Sulfuric Acid Process" i el 1989, sota el mateix títol, va realitzar un vídeo demostratiu sobre aquest procés. Aquests documents estan orientats des de la perspectiva del "Do It Yourself" (DIY) i des d'una vessant didàctica.

Es pot dir que La Plantz ha estat un pioner en la implementació del procés d'anoditzat, i el seu posterior acolorat, en l'escultura i en conseqüència, un referent important en aquesta tesi.

Pel que fa a l'obra escultòrica, els temes que tracta són els que explica ell mateix en tercera persona:

LaPlantz's sculptural pieces visually explore more political and philosophical topics such as blacklisting in the entertainment industry, payola scandals in the music industry and in radio, along with the "spoken word" as demonstrated in his 'Art Microphones'. (LaPlantz, s.d., par. 6)

Entre les seves obres d'escultura, en les quals en general utilitza l'assemblatge, destacarem *Waves Kimono*⁶⁷, d'alumini anoditzat i acolorat mitjançant el sistema d'impregnació amb pigments, però la seva producció més important, en la que també utilitza aquest mitjà per aplicar color, la trobem en el camp de la joieria, sobretot en la important col·lecció de colofons, dels quals en són un exemple *Cone Brooch*, del 1984 i les produïdes entre el 1990 i el 2021, *WhatKey WhatKey Brooch*, *Spiral Ferns Brooch*, *3-17 Brooch*, *Mask/Face Brooch*, *Partial Sun Burst Brooch* o *Okay, I'll Take A Look Brooch*.

Roy Lichtenstein

Lichtenstein (1923-1997), artista americà del Pop, va aconseguir un lloc rellevant en aquest context transformant elements del còmic en obres d'art a gran escala. En les dècades dels 80 i 90 va dedicar part de la

⁶⁷ No s'ha pogut localitzar la data de producció, però creiem que és va realitzar als anys 80.

seva activitat a l'escultura, fent nombroses obres en alumini pintat.

La sèrie *Brushstrokes* la va començar el 1965 en els seus quadres, adaptant-la, a partir dels anys 80, al format escultòric; com a model d'inspiració per a aquestes obres, va utilitzar un còmic titulat "Strange Suspense Stories", publicat el 1964. Concretament, les il·lustracions de la història "The Painting" (Waldman, 1993, p. 151). Amb aquestes pinzellades o brotxades, Lichtenstein rendia homenatge al mateix temps que satiritzava, als fonaments pictòrics de l'expressionisme abstracte:

Aesthetic issues of vital importance to artists such as de Kooning, Pollock, and Kline -gesture, and the involvement of the entire body in the act of painting, which Harold Rosenberg redefined as a spontaneous "action" or "event"- were reduced by Lichtenstein to the single brushstroke, which became the raison d'être for an entire series of paintings.... Lichtenstem unlinked process (the action or event) and end product (the record of that action or event) and thus diminished the ineffable mystery of artistic creation. (Waldman, 1993, p. 151)

En la sèrie *Brushstrokes* d'escultures va convertir aquest gest pictòric en un signe volumètric. Realitzà maquetes i peces monumentals utilitzant sistemes constructius de soldadura amb seccions industrials d'alumini pintat.

La primera escultura "brushstroke" de la que tenim referència és *Five Brushstrokes*, realitzada entre 1983 i 1984. Ha estat construïda el 2012, després de la seva mort, com gran part de les obres de la sèrie. Empla-

çada al Museum of Art d'Indianapolis, consta de cinc peces, la més alta de quasi cinc metres i pintada amb colors plans (vermell, blanc, groc, negre i salmó).

Les escultures de Lichtenstein, com moltes d'altres que s'han disposat a l'aire lliure, amb el pas del temps han hagut de ser restaurades, però en el cas de les obres pintades s'afegeix la dificultat d'aconseguir, amb la restauració, reproduir els colors originals i que aquests perdurin el major temps possible; un exemple és *Three Brushstrokes*, del 1984, restaurada en diverses ocasions. El 2009, amb l'ajuda de l'assistent de Lichtenstein que va aplicar la pintura original, James DePasquale i una investigació exhaustiva per part del Museu J. Paul Getty, propietari de l'obra, la peça va ser decapada totalment, eliminant d'aquesta forma els revestiments posteriors mal adherits i els colors incorrectes i repintada sobre l'alumini nu, utilitzant el sistema de pintura original (Wolfe, 2013, pp. 43-44).

Encara que la majoria de les seves peces de grans dimensions són construïdes a la dècada dels 90, trobem alguna excepció com de *Brushstroke Nude*, del 1993, escultura d'alumini fos de 3 metres d'altura, pintada de blanc, blau i vermell (Lewis, 1999, par. 2).

Karl Schantz

Karl Schantz (n.1944), artista nord americà resident al Canadà, treballa amb tècniques mixtes. Tot i que la seva experiència professional i docent gira principalment al voltant del vidre ha realitzat obres en pedra, en ceràmica i en diferents metalls.

Treballa en col·laboració amb arquitectes, arquitectes paisatgistes, enginyers, artistes i dissenyadors d'interiors, per trobar solucions creatives específiques per l'espai a intervenir, amb els que dissenya, fabrica i instal·la obres d'art a gran escala i integrades arquitectònicament. També està implicat en el disseny industrial i en la realització de prototips per a ser fabricats en vidre.

En la seva obra són evidents les influències dels moviments artístics moderns i de cultures antigues i es caracteritza per donar privilegi a la forma per damunt de la funció, atorgant protagonisme a l'expressivitat i al poder del color. Aquesta voluntat l'ha portat a desenvolupar algunes obres en color aplicant el procés d'anoditzat en l'alumini de forja; un exemple n'és l'escultura *Urban Hieroglyphic*, un collage de formes geomètriques de colors daurats, verds, blaus, roses i vermells o *Yuma Duma 2* i *Extended Frequency*, del 1989⁶⁸.

1.2.3.2.3_ "Artluminium" i el color

"Artluminium" va ser una exposició d'art contemporani, amb obres dels 80, centrada en la utilització de l'alumini. Ha estat promoguda per dues empreses multinacionals canadenques, Alcan Aluminium Ltée i Lavalin Ltée⁶⁹, les dues especialitzades en l'àmbit de la metal·lúrgia i amb seu a Montreal (Quebec). L'exposició es va portar a terme entre el 15 de setembre i

⁶⁸ De *Urban Hieroglyphic* i *Yuma Duma 2* no n'hem localitzat les dates de creació, però creiem que són de finals dels anys 80 i principis dels 90.

⁶⁹ Concretament per la Maison Alcan i La Galerie d'art Lavalin. Alcan Aluminium Ltée és la multinacional més important del Canadà i una de les primeres a escala mundial en la fabricació d'alumini i Lavalin Ltée la firma d'enginyeria més gran del mateix país.

el 29 d'octubre de 1989.

Sobre aquesta exposició es va editar un catàleg, que porta el mateix títol de l'exposició, "Artluminium", sota la direcció artística de Nelu Wolfensohn i amb textos en francès i anglès.

En aquest document es recullen textos de presentació de: Bernard Lamarre, president i director general de Lavalin i David Morton, president del consell i cap de la direcció d'Alcan. També de Joan Meade, conservador d'Alcan i de Leo Rosshandler, director de promoció de les Arts de Lavalin.

Al text de la presentació del catàleg l'hi segueix un de més extens dedicat als aspectes tècnics de l'alumini en l'escultura que porta per títol "Notes techniques sur es utilisations de l'aluminium dans l'art / Technical notes on the use of aluminium in art", escrit per Rudi Meyer, professor d'història de l'art a la Université McGill i a la Université Concordia, totes dues a Montreal, Quebec. A les pàgines finals es poden trobar els diferents currículums dels artistes participants en l'exposició.

Les imatges de les obres, d'un total de 51 artistes de trajectòries diferents, ocupen la part central del catàleg. L'especificitat d'aquest catàleg sobre art en alumini, principalment en escultura de la dècada dels 80, es força rellevat per aquest capítol. Malgrat que en el decurs de l'apartat dedicat als 80 sols hem escollit alguns escultors presents en aquest catàleg, d'aquest hem volgut reflectir altres informacions; emprant les dades que conté, hem considerat interessant observar les diferents maneres de tractar l'alumini presents en l'exposició.

Com s'observa en el conjunt dels artistes del catàleg: un total de 27 artistes deixen l'aspecte propi de l'alumini i 19 apliquen color. Respecte al tipus d'aplicació de color hem extret les següents dades:

- Esmalt acrílic: Karel Appel, Barry L.Gunderson, Robert Rauschenberg
- Esmalt: Dorothy Gillespie
- Pintura acrílica: Jürgen Goertz
- Gouache: Antonius Höckelman
- Pintura al látex: Jöelle i Rolf Morosoli
- Pintura a l'oli: Daniel Wall
- Pigment i laca acrílica: Maryrose Carroll
- Prova argèntica: Ellen Garvens
- Pintura, sense especificacions: Richard Barbeau, Robert Murray, Indira Nair, Brian Sauvé, Ronald Thibert, Dominique Valade, Hans Van de Bovenkamp
- Anoditzat i pintat: Karl N. Schantz

Volem destacar l'absència general, d'obres que han estat anoditzades i posteriorment dotades de color amb els processos d'acolorat que són propis d'aquest tractament, per ser el procediment que es proposa en aquesta tesi (anoditzat i acolorat per impregnació), exeptuant d'aquest llistat Schantz, encara que no coneixem amb exactitud el procediment de coloració aplicat.

1.2.3.3_Els noranta

En aquesta dècada es van produir fets històrics fonamentals que donen

peu a pensar en un final de cicle i de segle⁷⁰. El pensament conservador i les polítiques neoliberals van tenir una repercussió considerable en l'art. Els noranta, en lloc del final del segle XX, semblen el principi del segle XXI.

En el món de l'art, l'economia dels vuitanta amb els moviments frenètics

⁷⁰ Els fets més paradigmàtics de final de segle els exemplifiquen l'emblemàtica caiguda del mur de Berlín el 1989, la desintegració de l'URSS, la reunificació posterior alemanya i el final de la Guerra Freda.

La nova situació russa genera conflictes, la guerra de Txetxènia i la desintegració de la República iugoslava, el 1992 i la consegüent Guerra dels Balcans (guerres que es succeïren del 1991 al 2001), alerta sobre la fragilitat de l'estructura europea. La Unió Europea crea l'Euro. Es produí un ressorgiment dels partits ultranacionalistes, que s'estenen progressivament als entorns democràtics europeus.

Les grans multinacionals controlen els mercats i pel que sembla, també els ressorts polítics; consoliden el capitalisme neoliberal amb polítiques ultraconservadores i intervencionistes i prenen control de les fonts d'energia, en un context on el 20% de la població mundial acumula la riquesa, mentre que el 80% restant acumula la pobresa. Amb les deslocalitzacions encetades als vuitanta, les indústries cerquen mà d'obra barata al continent asiàtic i a Amèrica del Sud, generant atur en els països d'origen. Es percep un debilitament dels moviments progressistes, socials, sindicals, ecologistes, antiglobalització, etc., enfront del sistema neoliberal. L'hegemonia militar dels EUA mostrarà múscul en la defensa geoestratègica del mercat del petroli; el 1991 es proclamà la Primera Guerra del Golf.

La República Popular Xinesa, que manté el model socialista amb una economia de mercat capitalista encetada als setanta, viu en aquells moments els seus beneficis amb un creixement espectacular, però també un èxode rural cap a les ciutats sense precedents. Es reprimeixen les divergències polítiques; n'és un exemple la massacre produïda en la revolta a la Plaça de Tiananmen. El seu creixement anuncià la potència econòmica en què es convertirà en les dècades següents. Corea del Sud, Taiwan, Hong Kong i Singapur van continuar amb la seva vertiginosa expansió industrial i econòmica.

Àfrica immersa en un seguit de conflictes bèl·lics com el genocidi ruandès, les lluites per les matèries primeres, noves colonitzacions en aquest cas d'empreses xineses, la propagació de malalties, etc, va patir i ho continuarà sofrint, un procés migratori constant.

La situació de Centreamèrica i Sud-amèrica s'emmarca dins de la crisi del deute extern llatinoamericà, la guerra del Salvador, la de Nicaragua, la de Panamà i el conflicte del narcotràfic a Colòmbia.

Les tecnologies digitals com Internet i la telefonia mòbil afavoreixen un boom borsari en aquest sector.

de la borsa i les vendes agressives, va generar una festa expansiva; després de la crisi de 1991, en la qual es va produir el tancament de múltiples galeries i es reduïren considerablement les inversions en art. Als noranta, va tornar una relativa normalitat i el mercat de l'art va girar l'aposta cap a valors segurs.

Entre els temes tractats pels artistes va emergir el gran debat sobre la globalització, entès com la interconnexió de mercats i l'imperialisme capitalista, la multiculturalitat, el mestissatge de cultures, la interracialitat, la identitat, el cos, l'epidèmia de la Sida o la sexualitat entre d'altres; aquests aspectes són tractats amb molta freqüència sota l'òptica autobiogràfica de l'artista, fet que propicià l'aparició de peces sorprenents, amb un alt nivell icònic. La revolució digital, Internet i la globalització van ser determinants a partir d'aquesta dècada.

Van sorgir corrents i agrupacions de ràpida difusió, com el Toyisme, originat a Holanda, caracteritzat pel caire lúdic i per una filosofia de treball cooperatiu i anònim on es propugnà el valor de l'obra per damunt de l'autor; el Remodernisme, procedent del Stukisme, que promogué la pintura figurativa oposant-se a l'art conceptual i incentivant la cerca d'una nova espiritualitat de l'art i entre d'altres, el Massurrealisme, que es caracteritzà per la plasmació dels aspectes onírics surrealistes relacionats amb els mass media i l'art pop.

Com veurem, van continuar actius els artistes que ja s'havien donat a conèixer en la dècada anterior, com els Neo-Pop de finals dels vuitanta amb artistes com Jeff Koons (n.1955), en aquells moments qualificat aquest darrer, com neobarroc, van recórrer a objectes, imatges, icones i símbols de la cultura popular d'aquesta època; els objectes trivials de

caràcter industrial, elevats a la categoria d'obra d'art, va conviure amb artistes Pop dels seixanta com Claes Oldenburg.

L'acceptació del grafiti en els entorns del mercat, inicialment el 1983, en les galeries europees, com la Yaki Cornblit, als Països Baixos o els museus francesos de Meaux i Fresnes, el 1991 i posteriorment, en els centres d'art americans amb la gran exposició de grafitis a la Corcoran Gallery de Washington, també va acabar tenint repercussions en artistes que utilitzen l'alumini com Jonathan Borofsky (n.1942 Guash, 1997, pp. 302-304).

A Espanya, els artistes dels setanta i vuitanta van evolucionar des de la verticalitat objectual de l'escultura constructiva, cap a l'horitzontalitat de la instal·lació amb elements modulars de fosa, (n'és un cas Miquel Navarro [n.1945]) o des de pràctiques neoexpressionistes d'alta densitat matèrica i tradicional, on s'inclou la fosa cap a propostes o gestos de complicitat conceptual (com per exemple l'escultor Jaume Plensa [n.1955]).

La Documenta IX, del 1992, pot ser representativa de la manca de projectes comuns en l'àmbit artístic i de la primacia de les individualitats; Guasch (1997) descriu la directriu d'aquesta exposició:

Una línea poco implicada en cuestiones de estilo,... fiel reflejo de la situación social contemporánea y, en especial, de la situación del artista, un artista cada vez más recluso en su subjetividad, en su yo individual frente al yo colectivo. (p. 372)

I en relació amb els artistes, la mateixa autora afegeix aquest estereotip:

Un creador que tendia a suprimir las barreras entre pintura y escultura, que concedía una gran importancia al diálogo con los espacios preexistentes, fueran arquitectónicos o naturales, que se movía a gusto en el formato instalación y que recuperaba el espacio de la teoría como elemento clave en la conformación de la obra. (p. 373)

En les instal·lacions audiovisuals es va treballar amb nous mitjans tècnics, integrant la tecnologia digital i convertint-les en interactives.

Sols un percentatge moderat d'artistes de les noves generacions van optar pels mitjans tradicionals. La creació d'objectes interactius, esdeveniments i experiències amb les quals podia participar l'espectador, es van multiplicar sense que l'artista agafés cap compromís amb els mitjans. Parlar d'artistes identificats amb materials als noranta semblava quasi sacríleg; l'expressió digital es va convertir en el camp més explorat i va participar de la resta d'àmbits.

La saturació de la informació visual es va convertir en un model de consum que s'agregà amb el decurs del s. XXI. L'obra reposada on l'artista va madurant la seva evolució és sobresaltada per la dinàmica de la urgència i d'allò efímer; les obres havien de ser exposades amb immediatesa per evitar l'obsolescència.

1.2.3.3.1_L'escultura d'alumini als 90

A partir de l'eclecticisme dels vuitanta, la resistència cap als gèneres tradicionals desapareix i la fosa d'alumini adquireix una mica més de relleu. Tenim exemples d'artistes amb un recorregut de força dècades que pun-

tualment fan servir l'alumini. Louise Bourgeois (1911-2010) o Hans Ruedi Giger (1940-2014) en són un exemple en la utilització de l'alumini fos, però amb alumini de seccions industrials, aplicat de forma constructiva, en tenim d'altres com Andreu Alfaro o Antoni Tàpies, a l'Estat espanyol i Oldenburg amb Coosje, als Estats Units. En les generacions més joves d'escultors podem esmentar Thomas Schütte (n.1954), Anish Kapoor, Jeff Koons, Miquel Navarro o Jaume Plensa, entre d'altres.

Per abordar aquesta dècada, s'ha triat una artista de principis de segle, Louise Bourgeois i vuit més, nascuts entre els 40 i els 50 del segle XX: Jürgen Goertz, H. R. Giger, Thomas Schütte, Anish Kapoor, Jonathan Borofsky, Carlo Borer, Jaume Plensa i Miquel Navarro. També s'ha afegit, en un apartat independent per contextualitzar en un entorn concret dels 90, la limitada però significativa presència de l'alumini en l'escultura de les Olimpíades de Barcelona 92.

Carlo Borer

Un escultor europeu, poc conegut, amb propostes interessants des del punt de vista de l'alumini preelaborat és el suís Carlo Borer (n.1961). Borer construeix escultures en acer inoxidable i alumini des del 1991. En aquest darrer material, en la seva vessant laminada, realitza algunes peces de la sèrie *Aluminium-Rotation-Borgerad*, del 1998; primerament, amb resina de polièster i posteriorment, amb planxes d'alumini reblonat.

Aquest dissenyador i escultor treballa actualment amb la tecnologia 3D, desenvolupant les seves obres, la majoria en acer inoxidable, mitjançant

el disseny assistit per ordinador (CAD)⁷¹ a partir de figures geomètriques com el con, de les que n'extrau fraccions que retalla, recargola i concatena i posteriorment, són materialitzades amb processos artesans (Obrist, 2012).

Jonathan Borofsky

L'artista nord-americà Jonathan Borofsky (n. 1942) inicialment recull en les seves obres alguns aspectes de la figuració del grafiti:

Se involucró colaborando con Sol LeWitt, en el proyecto conceptual, para adoptar con posterioridad una figuración pictórica cercana a los grafitistas... Esas mismas imágenes de negras siluetas de hombres anónimos, las proyectaba en la pared para, en un posterior estadio, liberarlas del muro y convertirlas en cuerpos exentos, en esculturas prácticamente bidimensionales. (Guasch, 1997, p. 365)

Borofsky des del 1991, després d'una etapa dedicada a les instal·lacions, evita les exposicions en galeries i museus i s'ha especialitzat en escultures públiques gegantines.

No cabe duda que la obra más representativa de la prospección propuesta por Kassel'92 fue el hombre subiendo una barra de acero, de J. Borofsky, situada en el centro de la Fridericianum, símbolo también de un arte de los noventa. (Guasch, 1997, p. 357)

La més emblemàtica de les seves obres pot ser la versió de *Molecule Man*, del 1997. Aquesta obra és una fita fàcilment reconeixible a Berlín. *Molecule Man* consta de tres figures dretes, enormes, retallades com si fossin siluetes de personatges indefinits, d'uns 30 m d'alçada sobre el nivell de l'aigua del riu Spree. Simulant un retrobament i una abraçada, la silueta del cap mostra les boques obertes com en un crit d'alegria, mentre els braços connecten físicament els personatges. En paraules de l'artista:

For me, this hundred-foot tall aluminum sculpture composed of three figures meeting in the center, not only refers to the lightness inside our own solid bodies, but also the figures joining in the center, refer to the molecules of all human beings coming together to create our existence. (Borofsky, com es va citar en Jonathan Borofsky, s.d.)

Aquestes tres figures estan realitzades amb planxa gruixuda d'alumini d'uns 25 cm i el seu pes total és de 45 tones. Les planxes estan perforades amb nombrosos forats circulars que, a més a més de tenir una raó funcional, contrarestar la pressió del vent i també reduir el pes de l'alumini, generen un contrast amb la superfície brillant de l'alumini, que s'aguditza quan la llum solar i incideix. Borofsky va dissenyar l'escultura a Venècia i es va produir a Los Angeles, des d'on es va transportar a Berlín en divuit peces; la complexitat del projecte va requerir el treball d'un equip multidisciplinari durant tres anys (Arandelovic, 1987, pp. 192-193).

L'emplaçament de l'escultura és un lloc de confluència entre el riu i la ciutat, prop del pont d'Elsen, en l'antiga frontera entre Berlin Est i Oest.

71 Sigles en anglès de "Computer-Aided Design".

El simbolisme de la trobada, d'un Berlín unit després de la caiguda del mur, queda reflectit per la història del lloc (Arandelovic, 1987, p. 191).

Louise Bourgeois

Artistes de generacions precedents com Louise Bourgeois (1911-2010), que havien utilitzat tota mena de materials, tradicionals o no (entre els quals es troba la fosa amb bronze), als noranta utilitzen el sistema de fosa amb alumini.

Bourgeois sempre es va moure entre la figuració i l'abstracció; en el treball d'aquesta artista franco-americana trobem sempre referències biogràfiques a la llar, la família, la sexualitat i la mortalitat. Entre les obres més conegudes de l'escultora trobem la sèrie d'aranyes metàl·liques construïdes en bronze i acer inoxidable. En algunes d'elles, en el seu abdomen, s'hi poden veure allotjats ous; en alguns casos de marbre i en d'altres de granit, com és el cas de *Spider*, del 1994 *Maman*, del 1999 i *Crouching Spider*, del 2003.

El flirteig amb els materials és una de les característiques que van marcar la producció de Bourgeois; la capacitat de fer servir materials variats en la seva obra, conjuntament amb el seu discurs i la voluntat d'aprendre i innovar durant els 70 anys de la seva carrera, en els quals va conviure amb la majoria dels moviments artístics del segle XX, van propiciar que la seva producció es considerés contemporània en tot moment i fins i tot de vegades, avançada als seus temps (Sans, 2015, pp. 93-102).

A partir del 1995 se li coneixen diverses escultures realitzades en alumi-

ni fos. *In and Out #2*, creada entre el 1995 i el 1996 i situada als jardins del Rijksmuseum d'Amsterdam, segueix les formes orgàniques que caracteritzen molta de l'obra de l'artista. En aquest cas, l'alumini presenta un polit setinat en algunes parts, però en d'altres, la seva aparença és similar a la d'alguns aliatges d'aquest metall, que un cop s'han solidificat, llueixen un color gris mat a causa de la seva immediata oxidació.

Sota el terme "couple" (en cat. parella) s'engloben un seguit d'escultures basades en una temàtica usada habitualment per l'artista, la de la parella i la por a l'abandonament, a la pèrdua de l'amor (Tel Aviv Museum Art, s/d). Als noranta *Les Bienvenues*, del 1996 i en la dècada següent *The Couple*, del 2003 i amb el mateix nom, *The Couple*, però duta a terme entre el 2007 i el 2009, estan realitzades en alumini fos. Cada una d'elles, mostra una relació diferent entre dos cossos; aquests s'emboliquen i s'entortolliquen entre ells, complementant-se de tal manera que s'encaixen en un equilibri en espiral o es troben separats, a una distància prudencial, esperant el contacte o l'acomiadament.

Aquestes escultures es presenten en suspensió, fet que els hi atorga la capacitat de girar i en el cas de *The Couple* del 2003, formada per dos cossos que es toquen, però no estan entortolligats, el gir de les dues peces pot succeir-se en el mateix sentit, però també en direccions oposades, existint en un estat perpetu de fragilitat i ambivalència. Les espirals, que abunden en l'obra de Bourgeois i es ressonen en el moviment de les figures giratòries, tenen una dualitat inherent a la seva forma⁷².

⁷² Durant més de quaranta-cinc anys, des de les formes orgàniques *Lair*, de principis dels anys 60, i la sèrie *Janus*, de 1968, fins a les figures de tela dels anys 90, els caps penjants dels anys 2000 i les espirals d'alumini brillant fetes en els últims anys de la vida de

Així doncs, podríem dir que l'alumini entra a formar part de la producció de Bourgeois a partir dels anys 90. En els seus primers treballs amb aquest metall trobem *Toi et Moi I i II*, del 1997; geometries orgàniques que han estat polides fins al punt d'emmirallar i distorsionar la imatge que s'hi reflexa. Aquest recurs també ha estat emprat en les obres citades en el paràgraf anterior, les "couples", fet que reforça la voluntat de l'artista que l'espectador formi part de la seva obra, que connecti amb una realitat diferent (Zurbano, 2007, pp. 243-244, 287).

L'escultora té més obres en alumini fos, com *Small Eye #3*, del 1997, i *Untitled*, del 2004, però en cap de les seves produccions amb aquest metall hem pogut observar les possibilitats que ofereix l'anoditzat.

Jürgen Goertz

L'alemany Jürgen Goertz (n. 1939), professor de l'Acadèmia de Belles Arts de Karlsruhe (Alemanya), ha desenvolupat a partir dels vuitanta, una abundant quantitat de projectes monumentals, resolts majoritàriament en fosa de bronze, amb un marcat perfil figuratiu exuberant, de caràcter surrealista en el qual es representen personatges i animals. En diverses ciutats alemanyes es poden veure les seves obres de la dècada dels vuitanta: *Spaschwein*, del 1986, a Sinsheim, *Christophorus*, del 1988, a Heilbronn, *Friedrich Wilhelm Bessel*, del 1989, a Bremen o *Paaroh-die*, del 1989, a Rotenburg.

Bourgeois, demostren la infinitat de maneres en què va abordar el fet de penjar formes.

Per a Bourgeois, la suspensió de les escultures és una expressió de la psique; com ella va afirmar: "horizontality is a desire to give up, to sleep. Verticality is an attempt to escape. Hanging and floating are states of ambivalence" (Bourgeois, com es va citar en Cheim i Gorovoy, 1988, p. 109)

Goertz no incorpora de forma contínua l'alumini fos en la seva obra fins a finals dels 80 i durant els 90 i els 2000.

La temàtica del cavall, que havia tractat en una obra anterior, *Musengaul*, del 1981, es reprèn en alumini fos a *Anscavallo*, del 1993, a *S-Printing Horse*, del 2000 i a *Rolling Horse*, del 2007 i una quarta, *Racing*, del 2013, on torna a barrejar bronze i alumini com havia fet en l'escultura *Musengaul*, anomenada anteriorment.

S-Printing Horse, està situada al pati de l'escola de premsa Heidelberger Druckmaschinen AG. a Heidelberg, Berlín, amb un impacte monumental, té una alçada d'uns 13 metres, i pesa unes 90 tones⁷³; en aquesta obra, l'alumini fos conviu amb l'acer inoxidable. L'escultura simbolitza diversos processos i elements d'una impremta:

Entsprechen die Löcher im Hals den Bohrungen in den Seitenwänden einer Druckmaschine, in die Lager der Druckzylinder gesetzt sind. Die sich drehenden Elemente an den Flanken der Skulptur spiegeln die Rotation des Druckprozesses wieder. Geschlossen wird die Prozesskette durch den Schweif des "S-Printing Horse". (Heidelberg, s.d., par. 2)

A les peülles es troba una referència a la foneria d'Heidelberger Druckmaschinen AG i també fòssils en relació amb el jaciment de Schwäbische Alb (Alemanya).

73 Està considerada l'escultura d'un cavall més gran del món.

Aquestes dues obres, *S-Printing Horse* i *Rolling Horse* reflecteixen una planitud gens habitual en escultures de fosa, com podem comprovar en obres anteriors del mateix artista; probablement siguin deutes dels processos de disseny inicial a partir de perfils plans industrials (una suposició que no hem pogut comprovar). Goertz aporta sobre el plantejament escultòric de *S-Printing Horse*:

Es ist ja unübersehbar, daß es sich hier nur bedingt um ein Pferd handelt. Die Skulptur ist eine Mischung aus geometrischen und organoiden Grundformen. Das „S-Printing horse“ hat drei Beine – einerseits aus statischen Gründen, andererseits hat die Zahl drei natürlich auch eine überaus starke Symbolkraft. Zum dritten erlaubt es mir die künstlerische Freiheit, ein ausdrucksstarkes Kunstpferd so und nicht realitätsgetreu zu konzipieren. (Goertz, com es va citar en la web Jürgen Goertz, s.d., par. 1)

Jürgen Goertz és un dels escultors que treballa de forma més extensiva i en obres de gran format, amb alumini fos d'aspecte metàl·lic i amb alumini fos i acolorit.

H. R. Giger

L'artista suís Hans Ruedi Giger (1940-2014) va desenvolupar un treball de naturalesa fantàstica amb una vocació tridimensional potent, a partir del dibuix, la pintura i l'escultura. De formació inicial com a dissenyador també va realitzar mobiliaris i dissenys d'interiors absolutament coherents amb el conjunt de la seva obra. L'artista va obtenir el reconeixement popular per la fascinació provocada pel disseny dels monstres

i l'escenografia de la primera pel·lícula d'*Alien*, del 1979, dirigida per Ridley Scott.

Aquest monstre inesborrable és també el mestís *definitiu*: unes característiques físiques de l'insecte, del rèptil i de l'esqual amb una agilitat i energia provinents de les profunditats inimaginables de l'espai. Es multiplica com un paràsit i s'alimenta com un depredador, desconeix les vacil·lacions pietoses i només té un objectiu: sobreviure a costa del que siga i del qui siga. (Savater, 2007, p. 10)

La seva obra es caracteritza per la naturalesa fantàstica d'elements i temes propis de la ciència-ficció, en moltes d'ocasions amalgamats amb referències als genitals masculins i femenins. Va abordar aspectes d'una futura societat superpoblada, amb condicions mediambientals desastroses i profundament tecnificada, que aposta per la manipulació genètica i per la hibridació del cos humà amb màquines (ciborg)⁷⁴ o altres éssers, plantejant-se un debat ètic respecte a la situació del seu temps.

L'alumini fos forma part de la seva producció escultòrica, resolta majoritàriament amb resina i fibra de vidre. L'acabat metàl·lic i polit de l'alumini encaixa perfectament amb la naturalesa tecnificada d'una futura societat fictícia. Als seixanta desenvolupà un seguit d'obres que recorden les

74

[Un ciborg] és un nou ésser, un híbrid de la naturalesa i la tecnologia... és així mateix androgin o asexual, no necessita reproduir-se: ho fa al laboratori i al taller de reparacions... Aquests conceptes, que resulten tan suggestius quan són manejats per artistes en la creació de mons imaginaris, van prendre cos en les filosofies i les sectes transhumanistes i constitueixen en les dècades finals del segle XX, una curiosa i ambigua línia de reflexió sobre el futur de l'humà. (Pedraza, 2007, p. 26)

escultures egípcies del període d'Akenathon, però també l'obra de Salvador Dalí o d'Alfred Kubin.

Els setanta són els anys de l'*Alien*. En la dècada següent continuà participant en l'escenografia de pel·lícules, la cadira *Harkonnen-Capo-Stuhl*, del 1993, produïda en fosa d'alumini, n'és un exemple⁷⁵.

Als noranta incrementà la producció en alumini i podem veure diverses obres de fosa; per a l'exposició Watch Abart, del 1993, a Nova York, esdeveniment en homenatge a la marca de rellotges Swatch, presenta en aquest metall, *Summer Crosswatch* i *Winter Crosswatch*, dues escultures de braços recoberts amb aquests rellotges i alguns busts amb màscares força inquietants, també realitzades amb rellotges, com *Watchguardian Head V*, d'alumini fos i resina de polièster.

Cap a finals dels noranta, concretament el 1999, aconpleix un antic projecte, *Gebärrmaschine* (en angl. *Birthmachine I* en cat. *La màquina de parir*), de 225 kg de pes; aquesta escultura mural d'alumini s'exhibeix a l'entrada del Museu Giger a la ciutat de Gruyère (Suïssa). L'edició amb alumini de nens bala de la *Gebärrmaschine* (en angl. *Birth Machine Baby*), del 1998 i *Guardian Angel*, del mateix any, realitzades inicialment amb resina i després foses en alumini, també són d'aquesta època.

75 La cadira fou dissenyada per a una adaptació cinematogràfica de la novel·la *Dune*, de Frank Herbert, que havia de ser dirigida per Alejandro Jodorowsky. Posteriorment, aquesta va ser realitzada per David Lynch i el mobiliari de Giger no va ser utilitzat; de totes maneres, Giger aprofitar els dissenys per a llançar una línia de mobiliari. Uns anys més endavant, faria els dissenys per a la major part de les pel·lícules de la franquícia *Alien* (Arenas, 2007, p. 121; Montañez, s.d., par. 11-14).

A l'entrada del nou mil·lenni, Giger va seguir produint algunes de les seves escultures en alumini, com ara *Biomechanoid* i *Nubian Queen*, del 2002 o *Funeral Urn*, del 2007.

Anish Kapoor

Kapoor (n.1955) és un escultor anglès originari de l'Índia; pertany al nombrós grup d'escultors anglesos dels vuitanta que ha assolit talla internacional amb gran recorregut expositiu.

Consultant el catàleg de l'artista, que porta per títol el seu nom "Anish Kapoor", editat entre el 2008 i el 2009 pel Guggenheim de Bilbao, podem veure com en els seus treballs inicials, els materials i les cavitats que genera en aquest o en l'espai expositiu, són recobertes de pigments en pols. En els treballs en pedra de finals dels vuitanta, utilitzà pols negra per a generar sensacions visuals equívokes sobre la realitat espacial dels buits excavats. El color, per a Kapoor, és un material més que utilitza en molta de la seva obra; sobre aquest tema l'escultor comenta:

Uno de los aspectos que caracteriza mi trabajo es que yo he hecho escultura del color. El color no es una superficie para mí, es una sustancia, es un valor físico. (Kapoor, com es va citar en Jarque, 2006, par. 3)

Amb el nou segle multiplicà l'escala i porta a terme obres instal·lades en espais arquitectònics i peces d'art públic en ciutats europees i nord-americanes. Usa de forma preferent, formes arrodonides elementals derivades de l'esfera, de l'ou o les llavors, amb tot el simbolisme im-

plícit que comporta o altres formes geomètriques com els hiperboloides i els paraboloides en períodes més recents.

Aplica materials que amb els recursos actuals poden adoptar formes orgàniques, fonamentalment l'acer inoxidable i la fibra de vidre i amb menys freqüència, el bronze i l'alumini. En bona part de la seva obra aconsegueix superfícies emmirallades. Kapoor ha utilitzat la pintura per recobrir la fibra de vidre i també l'alumini, però no el bronze cromat i l'acer inoxidable. Amb l'acer inoxidable reflectant resol les grans escultures públiques, tractant les superfícies com uns miralls que distorsionen les imatges urbanes circumdants.

Una de les peces de la sèrie *Turning the world upside down*, del 1995, es va realitzar amb alumini fos, l'única del catàleg esmentat; aquest sembla un recurs secundari en relació amb altres obres d'aquesta sèrie que s'han resolt amb acer inoxidable. El tractament de la superfície de la peça és el polit mirall que el caracteritza, en aquest cas sense aplicació de color, recurs que sí que fa servir en moltes altres obres i ocasionalment, en alguna d'alumini⁷⁶.

Kapoor continuarà usant l'alumini en diferents ocasions; per raons relacionades amb les diferències substancials entre l'obra d'alumini d'aquesta dècada i les presentades posteriorment, Kapoor apareixerà en l'apartat dedicat a l'escultura en alumini del segle XXI.

⁷⁶ De Kapoor i el color en l'alumini en parlarem en l'apartat 1.2.7.3_*El color en l'alumini dels 2000*.

Miquel Navarro

Navarro (n.1945) és un escultor valencià de projecció internacional. El 1973 creà la primera "ciutat" emprant fang cuit. Més endavant va enriquir la varietat de materials (fusta, plom, marbre, zinc, ferro, etc.). Les peces construïdes amb zinc han estat un emblema de les seves primeres etapes; *Ciudad muralla*, duta a terme entre el 1995 i el 2000, amb unes dimensions d'ocupació del terra de 7 per 8 metres d'ample i realitzada amb alumini i zinc, pertany al fons del Museu Guggenheim de Bilbao i reproduïx els esquemes aplicats en bona part de les obres d'aquesta sèrie.

Les ciutats de Miquel Navarro són instal·lacions compostes d'elements modulars, repetitius i de formes geomètriques, prismàtiques, cilíndriques i còniques, que s'agrupen en composicions que simulen l'entramat urbà.

Lo que le ha interesado a Miquel Navarro de la arquitectura en general, y de la ciudad en particular, es la pura 'construcción' como concepto, la idea de edificación como trabajo de yuxtaposición inteligente de los materiales. Así construye un paisaje escultórico jugando con las relaciones sintácticas de sus elementos heterogéneos. (Maderuelo, 1996, p. 284)

Alguns dels elements unitaris que s'integren en les ciutats, freqüentment resolts amb construcció amb zinc, tenen un caire autònom i es troben a mig camí entre una maqueta d'un gratacel i una figura antropomorfa. Les instal·lacions, que ocupen una gran extensió sobre el pla del terra, semblen maquetes urbanes imaginàries amb centres de poder totèmics

dins de la seva verticalitat, perfectament protegits i inaccessibles per la concentració d'ordenacions regulars que ens remeten a les barriades de la perifèria més o menys massificades. L'accés de l'espectador és exclusivament visual, des de l'altura modulada per la posició i des del perímetre. Permet l'aproximació, però no el contacte amb els elements centrals ni el recorregut interior de la ciutat.

Les ordenacions urbanes segueixen patrons centralitzats, amb retícules cartesianes convenientment reordenades per radials en diagonal. Tenen un regust de ciència-ficció, ben diferent dels models creats per altres artistes amb els quals podria establir-se alguna relació: les arqueològiques d'Anne i Patrich Poirier (n.1941 i 1942 respectivament), amb fragments de carbó o les de Charles Simonds (n.1945), amb petites totxanes de fang o les arquitectures de les primeres avantguardes *Arquitectons*, en guix, de Malevich. L'obra de fosa de Miguel Navarro es força ampla.

Miquel Navarro mostra un marcat interès pels processos de fabricació, ja sigui quan construeix i solda les peces verticals de zinc, ferro o alumini, les construccions per escultures públiques perfectament acabades en acer, o en alumini com en la font pública de castelló, *Llangostes llibant*, de 1999 en alumini, o en les peces foses de caràcter modular; du a terme un treball minuciós. En el catàleg de la Galeria Fernández-Braso, de l'exposició de 2014 on presenta una de les seves darreres ciutats en alumini marí macís, també d'aspecte metal·litzat, *Monuments i multitud*, de 2014, junt amb altres obres en alumini i color o foses amb ferro amb pàtina rovellada, es pot apreciar aquesta delicadesa constructiva.

Jaume Plensa

L'artista de Barcelona Jaume Plensa (n.1955) té obra arreu del món és actualment un dels artistes catalans més reconeguts. Els seus caps de nens i nenes formen part de l'escultura pública de ciutats d'arreu del món (Estats Units, Canadà, Brasil, Corea del Sud, Noruega, Gran Bretanya, Itàlia, Suècia, Àustria...).

En les seves escultures s'evidencia una predilecció per diversos tipus de materials, entre ells, els metalls com el ferro fos, l'acer o el bronze. L'alumini, no és habitual en la seva producció, però, en *Firenze II*, del 1992, va ser el seu material d'inspiració. Aquesta és una *rara avis* en la seva producció, ja que no trobem cap altra escultura realitzada en alumini fos, a excepció de *Seele?*, del 2000, un interrogant bessó de *Firenze II* instal·lat al Netherland Park de Dusseldorf (Alemanya).

Firenze II, de 240 cm d'altura, és com una caixa tancada de metall fos, un motlle sense obertura, que amb el seu pes i la fredor del material, ens observa i ens fa replantejar preguntes.

L'alumini es presenta polit, oferint un acabat setinat i tot i haver estat protegida per evitar variacions en l'aspecte definitiu, el color platejat del metall s'identifica perfectament. La superfície imperfecta, on s'hi poden identificar "errors" segurament comesos en el procés de fosa, semblen haver sigut del grat de l'artista, ja que no han estat rectificats, sinó tot el contrari, s'ha buscat la manera d'aombrar-los i fer més notòria la seva presència i que en certa manera, ajuden a donar a les preguntes que sorgeixen, un caràcter més humà i profund.

En una citació del mateix artista, que podem trobar en el full de mà de l'exposició Jaume Plensa, realitzada al Museu d'Art Contemporani de Barcelona (MACBA) (2018-2019) i de la que *Firenze II* n'és la imatge de difusió i la peça que dona la benvinguda a la mostra, podem llegir la següent afirmació "l'escultura és la millor forma de plantejar preguntes" (Plensa, com es va citar en Museu d'Art Contemporani de Barcelona [MACBA], s/d) una frase que ens fa entrar al món escultòric de l'artista amb la mentalitat d'utilitzar un símbol que en moltes ocasions, no té resposta.

Thomas Schütte

L'alemany Thomas Schütte (n.1954) pertany a una generació prolífica d'artistes dels vuitanta, especialment en aquest país. El museu Reina Sofia, a propòsit de la retrospectiva de l'escultor el 2010, inclou en la difusió de l'esdeveniment el següent paràgraf:

No se puede olvidar que su obra se inscribe en la Alemania crispada y agitada de los setenta y ochenta, período en el que aún no se han cerrado las heridas provocadas por su responsabilidad y su derrota en la Segunda Guerra Mundial. El artista hace converger en su obra la crisis de identidad individual y colectiva que durante la segunda mitad del siglo XX afecta a su país de origen, así como las consecuencias de la caída del muro de Berlín en 1989. (MNCARS, 2010, par. 1)

Schütte és un artista compromès amb l'escultura, summament inquiet amb l'experimentació de tècniques (dibuix, aquarel·la, pintura, gravat,

escultura, modelatge, fosa, construcció, instal·lacions) i amb tota classe de materials (fusta, ceràmica, cera, bronze, alumini, etc.), ja sigui en tractaments figuratius o arquitectònics.

Su profunda curiosidad por las técnicas artísticas más diversas le ha llevado a tratar los géneros escultóricos tradicionales, como los bustos femeninos, los retratos conmemorativos o los monumentos, de una forma innovadora y nada convencional. (de Orbe, 2010, par. 4)

Per altra banda, rebutja la idea de l'artista definit per un estil, l'artista-marca. Això el condueix per camins d'experimentació eclèctica de l'objecte escultòric; amb plantejaments llunyans als corrents que aposten per la literalitat dels seixanta, ben al contrari:

La obra de Schütte esta llena de cuestiones sociales y políticas tratadas siempre desde un punto de vista personal e irónico y en las que se aprecia una constante preocupación por el lugar del artista en la sociedad actual. (de Orbe, 2010, par. 3)

Lluny també de la desmaterialització dels seixanta i sense que hi hagi un aspecte formal d'identitat definitiu recupera propostes i formats tradicionals trastornant les seves funcions originals. Ha desenvolupat un recorregut artístic extens de més de cinc dècades i amb ampli reconeixement internacional.

Anti-heroic, Schütte's art mixes the mythic with the utilitarian, turning child's play into a sculptor's experimentation with materials.

An unclassifiable artist, he's still following the advice that Gerhard Richter gave him when he was a student: find your own way by creating a repertoire, not a style. Schütte has often stated that it's not an easy way, but that it's been the right way for him. (Laster, 2019, par. 10)

Part de la seva obra inicial manté una relació amb l'arquitectura; aquestes peces tenen un format reduït, juga amb l'objecte-maqueta transformant-lo en escultura sense deixar de remetre a la realitat potencial dels models per a altres projectes: aquestes obres dels vuitanta van donar a conèixer l'artista internacionalment. En *Westkunst modelle 1.5*, del 1980, va utilitzar fusta, tela, pintura i també planxa d'alumini per a construir la maqueta.

L'obra en fosa de bronze o ferro, com la resta de la seva obra, és summament diversa en temes, figuracions i formats. El tractament amb pàtines dels busts o de les obres de gran format, realitzades en bronze, és summament interessant; també en *United Enemies I*, del 2011, resolta a partir de petits models de drap.

L'etapa de *Great Ghosts*, formada per peces antropomorfes de gran format situades en posició vertical, s'inicia el 1996 i està resolta en alumini polit, dificultant la percepció concreta dels múltiples volums dels personatges. Aquest recurs visual ha estat emprat en un gran nombre d'escultures d'autors diversos, d'aquesta i de les dècades següents. D'aquesta etapa és *Grosser Geist*, del 1998, sèrie que va ser exposada als passadissos del Museu Reina Sofia generant en l'espectador certa sorpresa, per la grandària i/o incredulitat i per l'estranya aparença lluminosa del

metall reflectant.

En la dècada següent va continuar fonent amb alumini i podem veure sèries com *Grosse Geister (Big Spirits)*, realitzada entre 1994 i el 2004 o *Frauen*, sèrie executada entre el 1998 i el 2006 resolta en fosa de bronze, ferro i també amb alumini polit i brillant. *Frauen* són torsos o figures femenines, de vegades deformades i reclinades absolutament, que ofereixen uns resultats gens convencionals en els casos en els quals presenten alteracions en la forma; en destacarem algunes en relació amb el color, *Aluminiumfrau Nr 3* i *Aluminiumfrau Nr 12*, del 2000 i 2003 respectivament, per l'intens acabat lacat de l'alumini. Aquestes figures també van ser exposades al Reina Sofia, al jardí de Sabatini, el 2010, amb certa polèmica a la premsa, ja que els comentaris de l'autor s'interpretaren com a sexistes.

Trencant amb l'acabat brillantat de l'alumini de les obres anteriors, ja entrats els 2000, exactament el 2005, realitza *Ganz Grosse Geister (Big Spirits XL)*, una instal·lació formada per tres de les seves figures químiques foses en alumini a les quals aplica color mitjançant l'esmaltació.

1.2.3.3.2_Els noranta a la Barcelona Olímpica

A la Barcelona de principis dels noranta, per l'etapa de les Olimpíades del 1992, es van executar nombroses obres de caràcter públic; en la pàgina web sobre Art Públic de l'Ajuntament de Barcelona ens trobem amb algunes obres resoltes totalment o parcialment en alumini. Aquest material no és en absolut majoritari en el conjunt monumental de Barcelona, però sí que representa una aportació rellevant en relació amb etapes precedents,

en què l'alumini preelaborat s'utilitzà de forma constructiva mantenint la seva coloració natural. Sí cerquem les peces de fosa amb alumini, aquestes encara són més excepcionals i en cap cas s'aplica coloració.

A continuació s'inclouen dues obres d'alumini fos, la de l'escultor Joaquim Ros-Sabaté i la de Pete Sans i tres de constructives, la d'Antoni Tàpies, la d'Antoni Roselló i la de Xavier Mariscal; en aquest apartat no s'inclou la d'Alfaro, donat que aquest escultor ja s'ha tractat anteriorment als setanta.

Xavier Mariscal

L'obra, *Atleta atlàntic*, del 1996, de l'artista valencià Xavier Mariscal (n.1950), es porta a terme pels Jocs Olímpics d'Atlanta (Geòrgia). L'empresa suïssa de rellotges Swatch, encarregada de cronometrar els esports, va encomenar per aquestes olimpíades dotze obres, una d'aquestes a l'artista Mariscal, autor del *Cobi* de les olimpíades de 1992 de Barcelona; la mascota, editada en fosa d'alumini, fou molt popular a partir dels jocs i de les posteriors divertides obres gràfiques i dels dissenys derivats (Fabre i Huertas, s.d.-b; Remesar, s.d.).

De sis metres d'altura i quatre d'amplada, *Atleta atlàntic* es va fer amb planxes d'alumini brillant i resina i es situa damunt d'una base de metall. El 1996, es va exposar provisionalment a la Rambla Catalunya i posteriorment, el 1997, al Maremàgnum, però actualment, es troba guardada en un magatzem municipal de l'Ajuntament. L'obra representa un atleta arribant a línia de meta amb els braços estirats, representats per les corretges d'un rellotge, evidentment de la marca Swatch, mentre que el cos és format per l'esfera del mateix (Fabre i Huertas, s.d.-b; Remesar, s.d.).

Antoni Roselló

El Taller d'Arquitectura i Urbanisme d'Antoni Font i Jon Montero va dirigir la urbanització del passeig marítim de Barcelona entre els carrers Pamplona i Bilbao; tres columnes impressionants, situades a les interseccions del carrer Pamplona, Badajoz i Llacuna, marquen un ritme en el recorregut del passeig marítim (Armesto, s.d.). Aquestes tres peces van ser projectades pel dissenyador industrial i escultor Antoni Roselló (1948-2020). L'artista ha instal·lat obra pública a diferents indrets: *Boogie Woogie*, situada a l'avinguda de Carles III, n'és un exemple.

El conjunt escultòric que es reparteix pel passeig marítim, realitzat el 1992, rep el nom d'*Aquari-Piscis-Tauro*, títol inspirat pels horòscops de la seva dona i de les seves filles. Les peces tenen una altura de 23 m i estan resoltes amb planxes d'alumini per una banda i ferro per l'altra. Aquestes estan dotades de formes arestoses i d'un contrast rotund entre el gris de l'alumini, que recorda el gris marítim dels dies nuvolosos i el marró ferruginós de la terra. L'interior, que s'il·lumina quan cau la nit al passeig, fa que l'escultura resplendeix a través de les seves perforacions convertint-la en elements relativament funcionals, a banda d'escultòrics, que donen llum al recorregut (Fabre i Huertas, s.d.-a).

Joaquim Ros-Sabaté

Joaquim Ros-Sabaté (n.1936) s'ha especialitzat en escultura d'animals que tracta de forma expressiva i modela amb materials mal·leables.

L'obra de Ros-Sabaté, *Cavalls desbocats*, del 1993, realitzada amb la

col·laboració dels arquitectes Joan Roig i Enric Batlle, està ubicada al Parc de la Trinitat de Barcelona. És una obra fosa per peces a la desapareguda foneria Morral de Sabadell, a partir d'un model de poliestirè expandit, amb el procediment de la sorra amb aglutinant de silicat de sodi collat amb diòxid de carboni. Es tracta d'un fris horitzontal, d'uns quasi vint-i-cinc metres, situat sobre un petit turó que permet la visió del relleu per les dues cares de l'obra, oferint diferents tipus de resultats. El tema tractat és l'indicat pel títol de l'obra, uns cavalls en plena carrera espaordida (Fabre i Huertas, s.d.-c; Giralt-Miracle, s.d.).

Pete Sans

L'obra de Pete Sans (n.1947), *Espina del mar*, del 1992, també s'ha resolt amb fosa d'alumini recurrent a la repetició modular de les vèrtebres orgàniques a les quals al·ludeix el títol. Es localitza a l'Hospital del Mar de Barcelona, essent una de les 16 obres instal·lades de forma permanent en aquest hospital (Associació de Comerç i Turisme de Ciutat Vella, s.d.).

Sans, que també és dissenyador de mobles, ha produït mobiliari solucionant certs aspectes estructurals amb alumini. Un exemple és *Arácnida*, del 1990, una taula en la qual el sobre se sustenta amb unes potes d'alumini fos i anoditzat⁷⁷ (Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera [AITIM], 2002, p. 49).

77 Aquesta taula ofereix l'opció que les potes puguin ser d'alumini o de fusta.

Antoni Tàpies

Tàpies (1923-2012) és un dels artistes més destacats de l'informalisme europeu; la seva projecció com a pintor ha estat internacional, però també és rellevant la seva trajectòria com escultor on utilitza materials diversos, inclosa la fosa de bronze, però no la d'alumini.

A Barcelona en podem veure obra pública com el monument *Homenatge a Picasso*, del 1983, de la col·lecció de l'Ajuntament de Barcelona; el projecte del Mitjó per a Barcelona 92, censurat en el seu moment per la polèmica creada, i del que hi ha una reproducció reduïda a la Fundació Tàpies; i l'obra *Núvol i cadira*, del 1990, situada sobre la façana modernista de l'edifici de l'actual Fundació Antoni Tàpies i antiga editorial Montaner y Simón.

Tàpies va crear la maqueta de *Núvol i cadira* amb filferro entortolligat i de l'embolic en va fer sobresortir una mena de dibuix-siluetes d'una cadira; aquest estudi preliminar l'hi va permetre projectar l'obra que ompliria l'espai buit entre els dos edificis laterals de la Fundació. La construcció de la peça definitiva va anar a càrrec del taller Pere Casanovas de Mataró, que també va realitzar la del *Mitjó* de dimensions reduïdes i altres obres públiques de Barcelona. Per *Núvol i cadira* van emprar tres quilòmetres de tub d'alumini anoditzat amb acabat plata i tela metàl·lica d'acer inoxidable (Fabre i Huertas, s.d.-d).

1.2.3.3.3_El color en l'escultura d'alumini als 90

El tractament de l'alumini en el seu aspecte natural predomina entre els

artistes dels 90 tractats; els artistes juguen amb els diferents tipus d'acabats, des del gris, passant pel gris polit o el metal·litzat, fins al polit mirall.

En aquesta dècada hem localitzat artistes amb dedicació puntual a l'alumini amb color, la majoria analitzats als 80, però amb producció acolorada d'interès en els 90; tot seguit esmentarem algunes de les seves obres d'aquest període.

Siah Armajani

L'alumini, com hem mencionat anteriorment, no és el material més utilitzat per Armajani. En algunes de les petites maquetes, aquest no rep cap mena de tractament. En *City Center no. 1*, del 1997 i en altres obres de grandària natural, com *Elements 16*, del 1995, manté l'acabat industrial gris o platejat amb el qual se subministra el material.

Elements Number 30, del 1990, que pertany a la sèrie *Elements* iniciada als anys vuitanta, és un cas diferent; aquesta és una composició escultòrica, de quasi tres metres d'alçada per dos d'amplada, formada per mobiliari que recorda un ambient domèstic (armaris, portes, etc.) i construïda amb placa d'alumini, acer, miralls i pintura. El tractament de color fosc sobre els diferents elements aconsegueix unificar-los, mentre que en les obres anteriors es manté la percepció individualitzada dels components constructius.

Jürgen Goertz

L'únic artista dels comentats en l'apartat anterior dels 90 (1.2.6.2.1_L'es-

cultura en alumini als 90) en el que hem pogut observar la incorporació de color en la seva obra d'alumini, quasi exclusivament en aquesta dècada, és Jürgen Goertz.

El tema del cavall és recurrent en les obres de Goertz. En *Musengaul*, del 1981, escultura localitzada a Karlsruhe (Alemanya), el cap del cavall està realitzat en alumini i els peus en bronze, mentre que la resta, el cos, sembla ser de seccions industrials. En observar el cap del cavall podem veure que els ulls han estat policromats; aquest recurs, el de pintar els ulls dels animals, és habitual en les obres d'aquesta època.

Al catàleg d'"Artluminium", del que n'hem parlat en la dècada dels 80, hi consten tres obres monumentals en què l'alumini, d'aspecte metal·litzat i de vegades parcialment acolorit, es conjuga amb altres materials i on el color intervé amb major profusió. Ens referim a *Cowriosty* i *Archiva*, de més de 6 metres d'alçada la primera i de 3 la segona, totes dues íntegrament d'alumini, amb parts pintades i *Chariot*, en la que barreja alumini al natural i pintat amb peces de resina acolorida, de més de 7 metres de llargada. Totes tres són de 1989.

Als noranta fa unes altres tres obres monumentals: *Flügel der Fantasie*, a Gernersheim, del 1992, amb bronze i alumini, *Mondbrunnen*, a Heilbronn, del 1997, amb bronze i *Turn der grauen Pferde*, del 1993, d'alumini. Aquesta darrera és una torre d'11 metres construïda per quatre cavalls de grandària decreixent. L'obra està plena de referències, entre elles la fira de cavalls de Bietigheim (Alemanya), alguns quadres de pintura moderna i els continents amb relleus de personatges. El tractament predominant de la superfície d'alumini de l'escultura és el polit brillant i

de forma puntual trobem algunes zones daurades i d'altres parcialment pintades de negre. Aquest color fosc apareix en els caps dels cavalls, els grans medallons dels costats i en altres fragments. Com en totes les obres d'aquest autor, aquest juga amb el cromatisme dels diferents components materials.

Donald Judd

El color en l'obra de Judd és un factor important; en una entrevista per al New York New Art, el 1989⁷⁸, Judd comentava sobre el color en relació amb les obres que presentava en una recent exposició i la seva producció anterior:

I don't think the color's changed a whole lot, though I'm very interested in the color, and I'd like to take it off into a certain area that I think is new to me.... I'd like to take it further. It's just a beginning.... I would like to use the bright colors more. Theoretically I would consider the gray a color, the aluminum or Cor-ten is as much a color as anything else, to me it's all color. I had a conflict between bright color and the nature of the material. I liked the material a great deal and perhaps color would have to be applied and that's always been a certain conflict. Anodizing is one possibility. (Judd, com es va citar en Singer, 2016-b, par. 33)

I en una altra entrevista, aquesta del 1990⁷⁹, l'artista explicava el seu

78 L'entrevista va ser duta a terme per John Griffiths, tal com s'indica en el text, per al llibre "New York New Art", el 1989 i publicat per St. Martin's Press.

79 Aquests fragments pertanyen a l'entrevista que Clauvia Jolles va realitzar a l'autor el

funcionament a l'hora d'aplicar el color a les seves obres:

The whole piece is made by the factory from the beginning to the end. It is not that I juggle with colors afterward. They are joined more carefully than that.

The older ones I painted, but it is not good for you [sic]. I hated to do it. If I can give it to somebody else to do it . . . also in the factory they are set up so that they don't have to breathe in the vapors.

[Ara] The factories are the assistants. There are quite a few different enterprises and people doing the work. We have a small factory now in West Texas. Peter Ballantine in New York makes the plywood pieces. Menziken is the factory here in Switzerland that does the anodized plate aluminum. They made all the pieces for Baden-Baden⁸⁰. (Judd, com es va citar en Singer, 2016-a, par. 20, 22)

L'obra en alumini anoditzat i acolorat de Judd abasta unes quantes dècades, exemples de finals dels vuitanta i principis dels noranta en són *Untitled (Bernstein 88-25)*, del 1988, i *Untitled (Bernstein 90-01)*, del 1990. El 1991, quatre anys abans de la seva defunció, realitzà la sèrie d'escultures *17-28 Untitled*, formada per dotze peces d'alumini acolorades, cada una d'elles amb un color diferent; els colors que va aplicar són

5 d'abril de 1990; es va publicar en "Donald Judd Cor-Ten", catàleg de l'exposició que porta per nom "Donald Judd", comissariada per David Zwirner i realitzada en el 2015.

80 La Staatliche Kunsthalle Badem-Badem d'Alemanya, organitzà una exposició el 1989, que recollia les obres de Judd realitzades entre el 1980 i el 1988; en aquest esdeveniment, l'alumini anoditzat en va ser el protagonista.

plans i el suport són perfils habitualment emprats en fusteria d'alumini.

Rudy Fuchs, historiador d'art i comissari, expert en l'obra de Judd, explicava d'aquesta manera la relació de l'obra de l'artista amb el color:

Judd was a colorist at heart — he never could handle the term minimal art; he didn't like it very much, because in that sense he was never a minimalist. With those boxes of metal, which were made in Switzerland, he made volumes of shapes and gave them color. The shapes are simple because they are only meant to be carriers of color. They have to carry the color, to transport the color.

His use of color became more complex because there simply was no reason to restrict color. (Fuchs, com es va citar en Koenig, 2018, par. 4-5)

L'obra de Judd ha estat una gran aportació a l'escultura en color i a l'escultura en general; el sistema d'acolorat a partir de l'anoditzat era en aquells moments innovador en el món de l'art.

Sol LeWitt

Structure, del 1994, de l'escultor Sol LeWitt, és una altra de les seves estructures reticulars d'alumini cúbiques; de 5 m per cada costat, la conformen 125 cubs d'1 m cada un. Aquesta peça reproduïx l'estructura de l'edifici situat al seu davant, el complex judicial Hallesches Ufer de Berlín, a partir dels seus plànols arquitectònics; amb aquesta relació crea un vincle geomètric sense arribar a trencar el principi de literalitat minimal. Està construïda amb seccions industrials d'alumini recobertes

d'esmalt blanc.

Roy Lichtenstein

De la sèrie *Brushstrokes* encetada als 80 i de la que ja n'hem vist alguns exemples anteriorment, Lichtenstein en continua realitzant noves versions als noranta, malgrat que no es van acabar de construir fins a la primera dècada dels 2000.

El 1993 va realitzar *Brushstroke Nude*, que està situada formant part del conjunt d'escultures permanents, als Jardins des Tulleries de París. D'aquesta obra en va realitzar litografies prèvies el 1989 i versions reduïdes, d'uns tres metres i mig d'alçada. Situada sobre una peanya, s'enlaira verticalment generant una torsió sobre el pla aplegant gairebé els 4 m d'alçada, inclosa la base. Està pintada amb colors vius (blanc, vermell i blau).

De la mateixa sèrie, en aquesta dècada Lichtenstein va elaborar, el 1996, el projecte de la pinzellada, *Brushstrokes* i quatre anys després, a l'edat de 73 anys, va morir. Els seus hereus van ser els responsables de portar a terme les ampliacions i construccions definitives d'un original en alumini, el 2001, per al Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía de Madrid i també d'una rèplica, entre el 2002 i el 2003, per l'Hirshhorn Museum and Sculpture Garden del Smithsonian Institution (Washington).

Brushstrokes, projectada el 1996 i realitzada el 2001, pertany a la col·lecció del museu de Madrid i està instal·lada al pati Nouvel de l'edifici des del 2004, any que es va fer l'exposició "Roy Lichtenstein. All About

Art". Té una alçada de quasi deu metres, provocant un gran impacte visual en el recinte en el qual es localitza i està pintada, a diferència de la resta d'obres de la sèrie, de força colorit pop, amb blanc i negre, reproduint la marca gràfica dels còmics de l'època en els quals s'inspirà.

Una altra obra d'aquest període, *Brushstroke Group*, del 1996 (construïda el 2005), es troba a Filadèlfia. Aquesta escultura està constituïda per un conjunt de quatre peces d'alumini, de diferents grandàries, pintades amb vermell, blanc, blau, verd i taronja.

Claes Oldenburg i Coosje van Bruggen

La parella d'artistes Oldenburg i van Bruggen ha estat tractada amb anterioritat en l'apartat de color dels anys vuitanta, amb nombroses produccions de caràcter públic. Hem vist un bon conjunt d'obra on fan servir l'alumini de forma estructural; a Barcelona, en l'escultura *Mistos (Match Cover)*, del 1992, també utilitzen aquest metall per aquest propòsit.

Aquesta escultura va ser projectada per a la Barcelona de les Olimpíades; l'ajuntament i les entitats creades per a aquest esdeveniment van formalitzar el contracte amb la parella, després d'un previ acord el 1987. Aquesta obra està situada en una zona de reurbanització de la Valle d'Hebron i s'ha convertit en un element icònic del districte d'Horta-Guinardó; destaca en el paisatge pels colors dels mistos: groc, vermell i blau.

Van Brugger comentava sobre l'objecte escollit per a l'escultura:

La carga simbólica del fuego se oculta dentro de un objeto simple y cotidiano en forma de una caja de cerillas, que pasa de mano en mano y es transportado en un bolsillo, un objeto de uso comunitario. Dentro de un pequeño paquete de papel, filas y filas de cerillas enganchadas, de madera fina o papel, con una punta de fósforo rojo, exudan la rigidez de la perfección y aún así contienen el potencial para el caos trascendente que conduce tanto a la iluminación como a la negación. (van Brugger, com es va citar en Baeza, 2014)

L'obra, pintada amb esmalt de poliuretà, va ser construïda amb acer, alumini, resina i fibra de vidre, pel taller de metal·listeria Tamansa, el 1991.

Jorge Oteiza

El cas d'Oteiza, del que ja hem vist les peces foses en alumini als anys cinquanta, suposa la reedició d'obres, en principi originades en els cinquanta, després de renunciar a la figuració, tractades amb alumini en la dècada dels noranta.

Són diverses les ampliacions autoritzades de l'obra d'Oteiza en vida de l'escultor. En el cas de Barcelona, *L'Ona* és una ampliació/reconstrucció d'una peça petita de bronze, de 5 cm, datada del 1957, al final de la seva etapa escultòrica. Abans de la seva realització es van fer cinc maquetes i un sisè model previ, de grandària definitiva amb fusta, que va servir com a model intermedi per realitzar la peça final. L'obra definitiva, construïda amb seccions industrials de planxa d'alumini, es va dur a terme al taller de Pere Casanova, a Mataró, del que ja hem comentat la seva

participació en l'obra de Tàpies, a finals dels noranta, el 1998.

Amb unes mesures de 3,70x4,15x3,59 m i un pes de 3,5 tones, ubicada sobre el podi exterior de l'edifici del MACBA, a la plaça dels Àngels, destaca pel contrast de color més que per la seva grandària. El color negre opac de l'obra actua com un acumulador energètic real per la seva exposició a la intensitat solar de la plaça, a la vegada que contrasta, gràcies a la profunditat del joc d'ombres generat pels plans oblics i les dues cares convexes del poliedre, amb el ventall de tonalitats blanques dels volums de l'edifici de l'arquitecte Richard Meier. L'alternança de matisos de llum i ombra que creen els volums de l'edifici i de la façana actua com un llenç de fons on destaca aquesta mena de punt negre.

El 2019, es va restaurar la pintura negra de la peça: el sol havia esmorteït la coloració, però fonamentalment es va realitzar perquè els habituals usuaris de la plaça havien omplert de pintades les seves superfícies atorgant-li una nova dimensió no prevista.

Jesús Rafael Soto

El veneçolà Jesús Rafael Soto (1923-2005), resident fins a la seva mort a França, estava inscrit en el corrent de l'art cinètic; va utilitzar la repetició i les progressions de sistemes musicals en la seva obra.

Soto va realitzar al voltant d'uns 30 Penetrables, majoritàriament projectats per a exteriors, encara que altres amb un caràcter efímer van ser destinats a galeries. En aquestes obres predominen una paleta reduïda de colors vius i contrastats.

El penetrable *Sphère Lutétia*, del 1996, va ser construït amb una estructura cúbica de ferro, de 6 m d'aresta i amb alumini pintat, a partir d'una maqueta del 1995 resolta amb plàstic. Va ser exposada al museu Guggenheim de Bilbao el 2019. Les barnilles suspeses de l'estructura estan pintades per trams de color negre, blanc i vermell, de tal manera que el conjunt d'aquestes configura una esfera visual. L'obra té un component sonor quan s'activa amb el moviment de les barnilles, sigui per l'acció del vent, sigui per l'acció de l'espectador.

1.2.4_L'expansió de l'alumini a partir del 2000

Les dues dècades del que va de segle, s'han caracteritzat per una expansió tecnològica sense precedents en l'àmbit de la digitalització que ha revolucionat la connectivitat amb la telefonia mòbil i l'evolució dels dispositius, Internet i la televisió digital terrestre. El fenomen de les xarxes socials n'és una conseqüència i el flux d'informació digital contrasta amb la tasca tradicional de les publicacions.

En termes generals, en aquest segle XXI s'està produint una reestructuració política i econòmica que repercuteix directament sobre les potències militars i els conflictes estratègics⁸¹.

⁸¹ Al segle XXI, s'ha passat de la bipolaritat de la guerra freda a la multipolaritat, en principi amb cert predomini dels EUA, que els successius esdeveniments i conflictes van matisant. Al principi, es va encetar un nou procés de tensió armamentista, desplegament de míssils a Europa, entre Rússia i els Estats Units; aquesta tensió es va sostenir amb la confrontació en guerres posteriors com l'encara actual de Síria derivada de la denominada Primavera Àrab. Els EUA han intervingut militarment, al mateix temps, en diferents fronts com Afganistan, des del 2001 i Iraq, des del 2003, amb resultats desastrosos, entre altres. S'ha produït una intensificació dels conflictes a l'Orient Mitjà, radicalisme religiós amb grups armats com el Dàesh, un increment del terrorisme internacional, l'expansió del radicalisme religiós armat a Àfrica com és el cas de Boko Haram, a partir del 2009, entre Nigèria i el Chad.

La lluita antiterrorista activada a partir de l'atemptat de les Torres Bessones, l'11 de setembre 2001, amb intervencions militars a l'Afganistan, formen part d'aquest desastre militar. Els grups radicals islamistes han mantingut els focus geogràfics amb la capacitat de dispersar-se per Orient Mitjà, Àfrica i la resta del món, amb cèl·lules com les d'Al Qaeda, capacitada per a dur a terme atemptats en qualsevol indret. L'acceptació recent del fracàs amb la retirada precipitada dels EUA i de les tropes internacionals d'Afganistan obliga a replantejar polítiques.

Xina assoleix progressivament l'estatus de "gegant asiàtic" amb potència militar, tecnològica i econòmica. En aquestes dècades ha controlat econòmicament recursos i matèries primeres a escala mundial a Àfrica i Sud-amèrica; el creixement expansiu la força a acaparar. La producció asiàtica ha generat dependència mundial dels productes fabricats en aquests països, fins a l'extrem recent de la manca de subministrament de mascaretes per

Pel que fa a l'últim quart del segle passat, en el que va transcórrer el postmodernisme, Márchan (1994) planteja una sèrie de preguntes que ens evidencien la complexitat a l'hora de definir el que estava passant en aquells moments en la creació artística:

El aluvión posmoderno, aunque solo sea asumido en cuanto cómoda convención, suscita un interrogante doble: ¿se trata de una moda más, de una tendencia innovativa acaparadora de un débil mercado artístico?, ¿asistimos a una treta más al que el vanguardismo mortecino nos tiene habituados? o, al contrario, sin despejar sospechas de lo anterior, ¿no estaremos presenciando desde mediados de los setenta la afloración de una actitud no tan marchitable que, por encima de las etiquetas y oportunismos, capta fenómenos artísticos más complejos?

En otras palabras, lo posmoderno, ¿es una nueva moda efí-

la pandèmia o microxips. La globalització, les multinacionals i les empreses, que van provocar les deslocalitzacions, han promogut un sistema de rutes comercials àgils provocant la tendència a evitar estocs; la falta d'existències ha provocat tancaments de producció i fins i tot, amb la crisi actual, d'empreses. La fractura en la línia dels subministraments i les especulacions amb les matèries primeres i els recursos energètics, provocades per l'excés de capital circulant, el 2012 i el 2020, es troben en els fonaments de la situació actual. Aquesta especulació de matèries primeres l'hem pogut notar de forma sensible a les fonerries amb l'encariment exponencial del coure a partir de la crisi econòmica del 2008 amb efectes fins al present.

Les conseqüències polítiques de la superposició de les successives crisis encara no s'han definit plenament, però l'ascens vertiginós de la ultradreta a Europa permet establir paral·lelismes en els esdeveniments de la primera meitat del s. XX. La retallada de drets civils, a causa del terrorisme i la més pronunciada, la dels drets socials, amb motiu de la crisi econòmica, amb el consegüent empobriment d'amplis sectors socials, resulta preocupant. Per altra banda, les migracions cap a Europa, derivades dels conflictes asiàtics i africans i cap a Amèrica del Nord, procedents dels conflictes del sud, són utilitzats per agreujar la polarització política.

mera o condición más perdurable: estados de cosas, modos de sentir, cambio de paradigma estético o artístico? ¿No estaremos balbuceando un cambio de sensibilidad, una oscilación del gusto impredecible, un tiempo histórico diverso? (p. 292)

Per una banda, la necessitat historiogràfica de classificar períodes i per l'altra, les campanyes de "màrqueting" vinculades a l'art superposades als precedents de la Postmodernitat, han anat generant durant la transició al segle XXI i la primera dècada d'aquest, múltiples paradigmes amb la finalitat de passar pàgina al postmodernisme (el Post-Postmodernisme). L'Altermodernitat, la Hipermodernitat, l'Automodernitat, el Performatisme, el Digimodernisme o la Metamodernitat, en són exemples (Gómez, s.d., par. 5).

La dificultat d'establir un ordre, en l'organització de les tendències i en la classificació dels artistes d'aquests anys sembla coherent amb la diversitat i amb la manca de perspectiva històrica.

L'expansió tecnològica digital ha tingut, durant aquestes primeres dècades, un ressò important en el món de l'art; en el territori de l'escultura els sistemes de reproducció i canvi d'escala, aplicats als sistemes tradicionals, s'han convertit en una pràctica habitual.

La popularització de l'ús de l'alumini en l'escultura es produeix de forma progressiva, com hem pogut observar, a les darreries del s. XX i creix a partir dels 90 i en aquestes primeres dècades del s. XXI.

Aluminum as a construction material for large-scale public art be-

came popular with the arrival of the twenty-first century, offering a myriad of new possibilities. The reason for this is its light weight and easy method of processing, thereby positioning it as an autonomous material that can offer successful solutions. Aluminum has reached technical maturity. (Arandelovic, 1987, p. 193)

Les dificultats per obtenir referències de classificació historiogràfica en períodes tan recents ens ha permès adoptar, pel període del s.XXI, una estructura de classificació basada en les dues línies de treball de l'alumini, que s'han anat evidenciant durant tota la recerca: per una banda, l'escultura que manté el color natural de l'alumini i per l'altre, l'escultura d'alumini on s'aplica color. En el primer cas s'ha afegit un primer apartat adreçat a l'arquitectura en la qual s'aplica l'alumini amb una clara connexió amb l'escultura. En cada apartat s'ha ordenat els artistes alfabèticament.

1.2.4.1_ "ArquiEscultura" amb alumini⁸²

Santiago Calatrava

L'arquitecte, enginyer i escultor valencià Santiago Calatrava (n.1951), resident a Zuric, és conegut pels espectaculars projectes de caràcter orgànic i estructural; els edificis de La Ciutat de les Arts i les Ciències de València en són un exemple. A banda de les seves produccions,

82 Per a titular aquest apartat ens hem apropiat del títol d'una exposició, comissariada per Markus Bröderlin i realitzada al museu Guggenheim de Bilbao entre octubre del 2004 i gener del 2005, amb el corresponent catàleg: "ArquiEscultura. Diálogos entre la arquitectura y la escultura desde el s. XVIII hasta el presente"; on per cert, les referències a l'alumini són pràcticament inexistent.

també és popular per les nombroses polèmiques relatives als defectes de construcció i els espectaculars costos de projectes no realitzats o els sobre costos, com els de l'estructura en forma d'enorme ull o raspa de peix, anomenada *Oculus*, de la nova estació del World Trade Center, al baix Manhattan, en la reconstrucció posterior als atemptats de l'11 de setembre de 2001 (Mendizabal, 2015).

Calatrava ha projectat per a Malmö, Suècia, el *Turning-Torso*, del 2005; aquest gratacel de 54 plantes s'eleva en rotació ascendent com una columna vertebral. El projecte deriva d'una de les escultures de l'arquitecte de 1991 i el referent orgànic és molt evident; la relació formal entre escultura i arquitectura és una constant en les seves construccions. Els aspectes estructurals, interiors i exteriors de l'edifici, s'han resolt amb acer; l'embolcall exterior és una pell d'alumini gris platejat i vidre. El projecte ha estat recobert amb 2.800 plaques d'alumini reciclat que contrasten amb la multiplicitat de nervis tubulars d'acer de les façanes⁸³.

Zaha Hadid i el deconstructivisme

La deconstrucció és una pràctica artística que té repercussions rellevants en l'arquitectura, però també deixa la seva empremta en l'escultura⁸⁴. El Deconstructivisme en arquitectura es caracteritza per una major expressivitat: exuberància sorpressiva i excitant; la ruptura amb la mo-

83 Sobre aquest arquitecte veure també l'apartat 1.2.7.3_ *El color en l'alumini dels 2000*.

84 Pensem en artistes com Tadashi Kawamata (n.1953), amb el projecte *Destroyed Church*, per a la Documenta VIII de Kassel, de 1987, resolt amb taulons de fusta o en les obres dels anys noranta d'Isidro Blasco (n.1962), també amb el mateix material.

notonia tridimensional del prisma arquitectònic; el rebuig d'eixos, formes i espais tradicionals; la llibertat en la composició de la planta i en volum i el contrast degut a la dislocació de volums i estructures, en aparença desarticulades, proporcionen imatges retorçades, superposades, desequilibrades, respecte a l'horitzontalitat i formes trapezoïdals. Les edificacions resultants són construccions emblemàtiques, molt costoses, però rentables a conseqüència de l'espectacular missatge visual. S'inclouen en aquest corrent arquitectes, en aparença formalment distants com Peter Eisenman, Enric Miralles, Michael Sae, Daniel Libenskin, Frank Gehry i Zaha Hadid. Hem de destacar la notable relació amb l'escultura de les seves arquitectures; de fet, es poden considerar escultures funcionals.

D'aquests tres últims, volem esmentar l'ús del recobriment d'edificis amb elements metàl·lics, una mena d'embolcall metal·litzat de formes geomètriques i orgàniques, que els apropa encara més al referent escultòric. Podem posar alguns exemples coneguts com el Museu Guggenheim de Bilbao, de Gehry, construït entre el 1992 i el 1993 i revestit amb 33.000 planxes fines de titani; el museu jueu Jewish Museum de Berlín, de Libenskin, del 2001, amb un recobriment gris de planxes metàl·liques que recorda alguns aliatges d'alumini un cop anoditzats i el Dongdaemun Design Plaza (DDP), de Zaha Hadid, que tractarem a continuació.

Hadid (1950-2016) fou una arquitecta anglo-iraquià de talla internacional; la primera dona que va rebre el prestigiós premi Pritzker d'Arquitectura, el 2004. Ha realitzat, i el seu equip ho continua fent, una arquitectura caracteritzada pel contundent aspecte escultòric, orgànic i fluid de les edificacions.

El 2014, Zaha Hadid Architects va dirigir el projecte coreà del DDPP, Dongdaemun Design Park and Plaza, situat en el centre de Seül; aquest és un macroedifici projectat per a fer les funcions de centre cultural, amb espais polivalents per exposicions d'art, disseny, tecnologia, biblioteques, centres educatius, sales de convencions i seminaris, etc. Com en gran part dels seus projectes la forma orgànica, arrodonida, recorda la d'un fluid, en aquest cas metàl·lic, que ofereix una imatge d'edifici del futur o de ciència-ficció. La façana s'ha resolt amb un recobriment de 45.000 panells d'alumini, diferents entre ells, dissenyats i fabricats amb tecnologia 3D. Segons l'arquitecta, el DDP és el primer projecte públic de Corea que utilitza, en la seva construcció, el modelatge tridimensional d'informació d'edificis (en angl. Building Information Modeling [BIM]) i altres eines digitals. Algunes d'aquestes plaques estant perforades amb multitud de forats que converteixen l'alumini opac en un mur cortina "semitransparent" proporcionant, amb la il·luminació nocturna, múltiples efectes de color (Lee i Kim, 2012, pp. 1323-1329; Yun, 2014, pp. 17-18).

Zaha Hadid també ha dissenyat diferents peces de mobiliari, escultures funcionals, amb les peculiars formes orgàniques de gran part de la seva obra; algunes d'aquestes amb resina de polièster imitant l'acabat metal·litzat, com *Table*, del 2007, resolta amb poliuretà, fibra de vidre i pintura metal·litzada i altres, amb alumini probablement fos, amb un acabat polit mat, com *Aluminium Bench*, del 2003 o *Crater*, del 2007, d'alumini en acabat platejat.

Idris Khan

L'artista anglès Idris Khan (n.1978) va acabar els estudis en el Royal

College of Art de Londres el 2004, país on actualment viu i treballa.

En les seves obres crea una narració carregada d'emoció formalitzada de manera meticulosa, utilitzant la repetició manual d'imprimir una vegada i una altra, fragments de llibres, de tractats històrics, filosòfics i teològics, escrits personals, partitures de música, etc. El conjunt són unes escultures, pintures, dibuixos murals o obres damunt paper amb imatges geomètriques denses.

La primera escultura pública d'Idris Khan al Regne Unit està feta amb alumini fos i va ser un encàrrec de St. George City Ltd i el London Borough of Southwark com a part del programa d'art públic One Blackfriars.

65.000 Photographs, del 2019, és una columna abstracta amb una forma que recorda un signe d'exclamació de vuit metres d'alçada, formada per sis blocs que s'apilen uns sobre els altres creixent de mida cap a la part superior. Les dimensions dels blocs representen les diverses mides estàndard de les impressions fotogràfiques i la superfície d'aquests simula la textura que tenen les piles d'aquests documents, una imatge quasi oblidada a causa del món digitalitzat.

L'obra fa referència a l'arxiu personal de 65.000 fotografies que l'artista va fer durant els últims cinc anys amb el seu telèfon, animant l'espectador a reflexionar sobre fins a quin punt ha augmentat i continua augmentant, l'arxiu de fotografies personals i el fet de capturar records per documentar les nostres vides (Warner, 2019).

Cada dia es pengen en línia més de 1.800 milions de fotografies, això

suposa una mica més d'1,25 milions d'imatges per minut o 20.000 per segon. Tots aquests moments es capturen, s'emmagatzemen i es comparteixen, però d'alguna manera encara trobem la manera d'oblidar-los. L'obra és un monument i a la vegada una crítica a la nostra obsessió col·lectiva per capturar les nostres vides a través de la fotografia digital que deixa una empremta immensa però invisible.

El 2016, més orientat a l'arquitectura, Khan va rebre l'encàrrec de fer un memorial de guerra per a Abu Dhabi. El resultat, emplaçat el 2018, va ser el monument *Wahat Al Karama*, que significa Oasis de Dignitat, títol adequat per a la temàtica del monument, escollit per a immortalitzar els homes que van donar la seva vida pels Emirats Àrabs Units. L'escultura està a prop del Pavelló d'Honor que pretén servir com a lloc de respecte, honor i reflexió privada, un espai de serenitat en una ciutat en constant creixement.

L'escultura, de 90 metres de longitud, està instal·lada en un espai de 46.000 m² que es troba entre la Gran Mesquita Sheikh Zayed i la seu de les Forces armades dels Emirats Àrabs Units (UAE).

Està formada per 31 plafons de grans dimensions, el més alt fa 23 m d'alçada, alineats com si fossin fitxes de dòmino o construccions de cartes, recolzats un sobre l'altra per simbolitzar la unitat, la solidaritat i el suport mutu de les set nacions dels UAE, així com per representar la força, l'orgull i la valentia dels seus soldats.

Els plafons estan coberts amb més de 850 panells d'alumini fos. Cada planxa està intervinguda manualment amb la inscripció de poemes i ci-

tes del Pare Fundador dels UAE, el desaparegut xeic Zayed Bin Sultan Al Nahyan i d'altres líders notables (UAP, s.d., par. 3). El resultat visual és una textura subtil i intensa que forma una banda infinita de marques que apareixen i desapareixen.

La llarga columna vertebral de la part posterior del Memorial està gravada amb la promesa de lleialtat jurada per tots els membres de les Forces Armades dels UAE. Al final del recorregut s'arriba al Pavillion of Honor, folrat en el seu interior amb 2.800 panels, també d'alumini fos, que en aquest cas són fruit de reciclar els vehicles blindats de les forces armades que estaven fora de servei (UAP, s.d., par. 4).

L'obra va ser realitzada per la foneria UAP, la mateixa que va fondre la seva primera escultura. Fundada a Brisbane (Austràlia), actualment aquesta empresa s'ha expandit a Xangai, Nova York i Orient Mitjà, convertint-se un taller internacional de producció en metall que formalitza encàrrecs públics d'art o arquitectura a gran escala.

El memorial va guanyar el 2017 l'American Architecture Prize, el premi d'arquitectura del German Design Council, i va ser seleccionat per al Premi Dezeen del 2018.

Del seu resultat final, l'artista britànic Idris Khan diu:

The idea was to create a park for reflection on both loss and remembrance, a spiritual place that conveyed unity and support. I wanted this monument to have positive and hopeful resonance while inspiring curiosity in sculpture and how contemporary art can influence

emotions. The project allowed me to be ambitious, and having been able to create such work gives me great pride. It is a place for serenity within a city busy with construction and growth, a major part of a country's history and landscape that will be absorbed by the cultural awareness of future generations. (Khan, com es va citar en Suzanne Lovell Inc., 2018, par. 4)

Sacha Sosno

Un altre exemple d'"arquiescultura" és la *Tête carré* del 2002, edifici ideat per l'escultor Sacha Sosno (1937-2013). Sosno realitzà, en els seus projectes relacionats amb edificacions, el que podríem anomenar monuments habitables.

La *Tête carré* és un edifici de set plantes on s'ubica la biblioteca Louis Nucéra, la Bibliothèque Municipale à Vocation Régionale de Niça. Sosno, inspirat en el format clàssic de bust (cap i espatlles), substitueix parcialment la forma natural del cap per un cub de 14 metres de costat; és habitual en la producció d'aquest artista la utilització del que ell anomenava "tècnica d'obliteració", addició o sostracció d'un element geomètric perquè l'espectador construeixi o reconstrueixi l'obra lliurement. Aquest bust descomunal de 28 m d'alçada està resolt, en la seva part habitable (cub) amb panells d'alumini perforat que com en altres casos, permet el joc amb la il·luminació i pel que fa a la seva base, part figurativa que va des del llavi inferior fins al naixement del pit, amb una pell d'alumini. L'acabat superficial sorrejat i possiblement l'aliatge i el tractament de protecció utilitzat, l'hi confereixen un acabat grisenc que unifica tot el conjunt (Mondou i Pedinielli, 2007, p. 4).

Una altra arquitectura realitzada parcialment en alumini és *Le Guetteur*, del 2015, ubicada a Cagnes-sur-Mer (França); en aquest cas, la part del bust elaborada amb aquest metall i la que defineix l'element figuratiu de la construcció és la secció dels ulls, fragment que s'associa amb el nom de l'obra, "L'observador".

Andrea Zittel

L'artista nord-americana Andrea Zittel (n.1965) produeix un tipus d'obra d'art híbrida entre arquitectura-disseny i escultura amb implicacions socials; d'alguna manera ens recorda l'obra de Krzysztof Wodiczko (n.1943), *The homeless vehicle project*, realitzada entre el 1988 i el 1989, i duta a terme per aquest artista en l'època de les polítiques neoliberals del president Reagan i el notable increment de gent desclassada que va passar a formar part de l'exèrcit dels sense llar. La proposta de Zittel té un enfocament relativament diferent, es podria dir que més estructural; les seves primeres obres recullen el model productiu de les granges de gallines en relació amb els habitatges urbans, com és el cas de *A-Z Breeding unit for averaging eight breeds*, del 1993.

Per altra banda, *A-Z Escape Vehicle: Customized by Andrea Zittel*, del 1996, pertany a una sèrie d'obres concebudes com a habitatges mòbils tipus remolc, personalitzats segons el requeriment de cada propietari. Aquesta mena de cabines, plantejades perquè un cop dins permetin escapar de la realitat que ens envolta, s'han resolt amb una estructura exterior de recobriment que aporta fredor a causa de les planxes d'acer inoxidable metal·litzat brillant que la componen i en contrast, els acabats interiors són acollidors i complementats.

Amb la sèrie *A-Z Wagon Stations Encampment*, del 2003, continua amb aquesta proposta, instal·lant habitatges a la seva propietat del desert de Califòrnia, a prop del parc nacional de Joshua Tree, on hi realitza residències artístiques (Browne, 2006, p. 38).

Zittel is drawn to the frontier mentality. Her "Wagon Station Encampment" is the second iteration of her A-Z Wagon Stations and contains twelve portable one-person shelters or pods. She hosts artist residencies on her property and opens her property to the public two times a year so that people can come together in a retreat-like setting. Each person has her own steel and aluminum sleeping pod, designed by Zittel. Each contains a bed, a door, and a shelf. The pod can be closed up like a cocoon with a cover that allows for light and for a view of the desert.... People can come together if they want or they can be solitary in their own pod. Visitors can be inspired from the merging of landscape, architecture, and the sense of community. (Probst, 2020, par. 7)

A-Z Wagon Station customized by Jonas Hauptman, with further customization by Thomas Stevenson, del 2011, n'és un exemple d'aquesta classe de treball d'autoria compartida. Està resolt amb estructura d'acer, recobriments d'alumini i interiors d'altres materials càlids (teixits i tapisos de llana), provocant la contraposició de sensacions que caracteritza part de la seva obra. L'alumini exemplifica la producció industrialitzada, freda i impersonal, desconnectada d'una natura, que malgrat tot protegeix i que es contraposa a les necessitats d'intimitat i calidesa de cada persona.

Zittel realitza altres peces modulars d'interiors amb una estètica minimal readaptada a la sensibilització personal, com la sèrie *Planar Configuration*, del 2017, on les obres de caràcter modular estan resoltes amb acer, alumini, coixins, matalassos i mantes.

1.2.4.2_Escultura amb alumini als 2000

L'alumini, en determinades obres havia estat considerat pels escultors com una alternativa tova, més econòmica que l'acer o el bronze. Habitualment s'emprava quan la corrosió, el pes o el pressupost, eren un problema. Progressivament es van explorar les seves característiques expressives particulars; ho hem vist en les darreres dècades de s. XX i continuem veient-ho al segle XXI. L'alumini fos, amb totes les variants de la seva naturalesa visual, ha anat agafant un fort impuls en les darreres dècades i el mateix ha passat amb l'aplicació de color sobre aquest metall.

Kader Attia

L'artista francès d'origen algerià Kader Attia (n.1970), resident entre Berlín i Alger, desenvolupa una obra amb enfocament intercultural i una producció eclèctica i multidisciplinària, emprant diverses tècniques i materials. Els temes del colonialisme i de la reparació, les qualitats terapèutiques o curatives de l'art, són presents en la seva obra (Rodríguez, 2019).

La reparación es un oxímoron que también incluye la herida. Negar la herida es mantener el dolor que genera. Al reparar las grietas de la historia con grapas metálicas, con hilo o con parches de otras

culturas, a menudo contradictorias, doy voz a las víctimas; permito que el trauma nos hable y, por lo tanto, allane el camino para la catarsis. (Attia, com es va citar en Fundació Miró i Obra Social "la Caixa", 2018, p. 3)

La instal·lació *Ghost*, del 2007, de dimensions variables, realitzada amb paper d'alumini, evoca una plegaria o ritual d'un grup nombrós de persones; tot i que Attia no revela la identitat ni la procedència dels oradors, les figures semblen ser dones de cultures probablement islàmiques o orientals, ja que porten el cap i el cos recoberts amb una túnica, però, tal com diu Diawara (2014):

While many viewers will take the robed effigies as representations of Muslim women at prayer, it is just as clear that there is no fixed identity behind the veil, and that any assumption as to who or what these figures represent is in fact the product of the spectator's own preconceptions (p. 165).

L'absència de rostres, genera uns espais foscos, profunds i buits que ens remetent a rituals sectaris més que a processos d'oració en les religions establertes. L'actitud de submissió dels personatges agenollats, l'ordenació estricta dels alineaments i la uniformitat, en la fredor metal·litzada de les robes d'alumini, suggereix una passivitat militaritzada de potencial contingut.

El paper d'alumini és un format delicat, per tant, *Ghost* és una peça efímera que, al final de cada mostra, paradoxalment és destruïda (ni transportada ni reparada), essent elaborada de nou, mostrant una connexió

amb el ritual, quan ha de ser exposada de nou.

Diego Canogar

L'escultor i gravador madrileny Diego Canogar (n.1966) materialitza la seva obra a partir de diferents tipus de metalls, de forma constructiva o en fosa. Realitza un procés de treball sistemàtic amb variacions de formes i estructures que parteixen de models derivats de l'estudi de la intersecció dels volums esfèrics com les bombolles de sabó. Concretament, per a les seves creacions són d'interès els espais residuals provocats per l'aglomeració d'aquestes formes, que modelitza amb fluids solidificables com l'escaiola.

A partir d'aquests models realitza tot un seguit d'obres en planxa d'acer, com la sèrie *Tetramorfos*, de la que en disposa alguns exemplars en espais naturals o enjardinats: *Tetramorfo Victoria*, del 2010, és situada al parc d'escultures de la Dehesa Boyal, a Navas del Marqués, Àvila (Castella i Lleó); *Tetramorfo V*, del 2009, s'ubica al Parque Internacional de Esculturas de San Sebastian de los Reyes, a Madrid i *Síntesis*, del 2014, situada al jardí del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM).

De la producció en fosa destacarem: *Pequeñas y medianas esferas ausentes*, del 2020, realitzada en llautó i banyada en or i *Abemaciclib en Lilly*, del 2019, que pertany a la sèrie *Moléculas* i està fosa en alumini; aquesta última escultura ha estat fosa a la sorra per l'empresa Magisa emplaçada a la capital espanyola i es pot veure a les oficines centrals de l'empresa Lilly España, a Alcobendas (Madrid). L'alumini gris i polit d'aquesta obra, com en la majoria de la producció de Canogar, actua

de forma estructural mostrant les interseccions convexes de les esferes absents.

Wim Delvoye

A l'artista flamenc Wim Delvoye (n.1965) resident a la ciutat belga de Gant, se l'ha catalogat com a neoconceptual i ell mateix se'n considera; en aquest sentit Delvoye opina: "conceptual art came out against commodification and the concept was more important than execution,... Neo-conceptual art was formed against conceptualism. I have good ideas and execute those ideas, and talented people do things for me" (Delvoye, com es va citar en Kwon Mee-yoo, 2018, par. 10).

Delvoye desenvolupa una obra eclèctica, absolutament heterogènia, amb una estranya barreja d'obres d'art que presenta amb formats diversos com escultura, dibuix, fotografia, instal·lació i vídeo.

El 1990 realitza els primers porcs tatuats; als anys 2000 va realitzar obres molt impactants com *Cloaca*, del 2000, de la que en va fer diferents versions i en la que es reproduïa un sistema digestiu humà en una mena de màquina-laboratori que realitzava un procés digestiu complet: entrava l'aliment i després del procés, en sortia un excrement; i el 2010 reedita el tema dels porcs tatuats presentant-ne set a una exposició al Musée d'Art Moderne et d'Art Contemporain de Niça (MAMAC), generant molta controvèrsia en la premsa internacional.

Obres més recents, resoltes amb metall, continuen essent igualment colpidores. Un exemple en són les carcasses originals dels cotxes de

carreres dels anys seixanta, fabricades en planxa d'alumini, com les utilitzades en *Untitled (Maserati)*, del 2014 i en *Untitled (Ferrari TR)*, del 2017, profusament gravades i els vehicles, com el camió formigonera, *Cement Truck*, del 2010, amb motius de filigrana gòtica construïts amb planxes d'acer. Kwon Mee-yoo (2018) comenta a propòsit de les carrosseries: “the life-size Maserati shell and scale-model Ferrari shell on display are adorned with intricate carvings. The artist acquired the shells and sent them to craftsmen in Isfahan, Iran, to emboss the Islam-inspired patterns” (par. 6).

Per altra banda, el mateix cronista cita amb paraules de Delvoye, quin és el seu plantejament a l'hora de materialitzar les seves idees: “I have good ideas and execute those ideas, and talented people do things for me” (Delvoye, com es va citar en Kwon Mee-yoo, 2018, par. 14).

Marcus Egli

El suís, nascut a Zuric, Marcus Egli (1957-2016) és un personatge excepcional dins d'aquest context d'escultura en alumini, ja que ell no es considera artista, en tot cas treballador del metall.

Es va formar com a mecànic de precisió i el 1985 va adquirir amb la seva dona una petita indústria ferretera per a realitzar complements petits, que incloïa una foneria d'alumini. Aquesta empresa havia estat fundada el 1942, a Les Ponts-de-Martel, prop de Neuchâtel (Suïssa) i proveïa els petits comerços. La implantació de les grans superfícies i la globalització va ensorrar el mercat i l'empresa va fer fallida, obligant a Egli a reinventar-se. Segons comenta, un senyor li va portar una patata fosa amb

bronze per patinar; posteriorment va descobrir que era un artista rellevant. A partir d'aquest moment va realitzar petites peces de bronze que no li satisfien i finalment, el 1992, es va decidir per utilitzar l'alumini. S'enamorà del material, de la fosa, de la lleugeresa, de la brillantor i de la calor i l'energia que desprèn al tacte. Pel que fa a la seva preferència per l'alumini, Egli explica:

I started creating my first anecdotal statues, in which I wanted to tell a story, in bronze. Bronze also oxidizes very quickly and doesn't have a very nice colour. So you have to add a patine to it, give it an aspect, an artificial colouring. This artificial colouring doesn't always hold in air so you have to protect it with products such as beeswax or even lacquers. It came to the point where I told myself there was always several layers that stopped me from touching the metal itself. And I wanted to touch the metal. That's what's magnificent about aluminium. You have a rough, raw aspect and a polished, smooth aspect which require no protection. When you touch it, you're really touching metal, you feel the metal, you feel the heat flowing through, you feel the man-made energy flowing through the material, which you can't have with any protected metal. I love the polish, the colour of aluminium polish, the shine which isn't too bluish, like with chrome, or yellow, like with nickel. It has a beautiful soft colour. (Egli, com es va citar en Leymonerie, 2009, p. 78)

I a la pregunta de si la lleugeresa també influeix en l'elecció del material, respon: “I'm so used to aluminium now, that when I touch anything else, I'm shocked by the weight” (Leymonerie, 2009, p. 78).

En aquest metall realitzà un prototip de personatge, reproduïble amb el mateix sistema emprat per la producció d'accessoris de ferreteria en la seva empresa, en alguns casos esculpint-los i en altres fonent-los amb motlles de dos peces. El va reproduir sistemàticament i el reinstal·là de múltiples maneres, donant peu a la sèrie *Hominium* (human and aluminium), personatges amb la cara polida on l'espectador es pot veure reflectit.

Amb els "hominums" practicà agrupacions per a tractar el tema de la uniformitat, de la capacitat gregària de l'ésser humà, generant interrogants o sorpresa sobre les situacions.

En la seva obra, l'alumini esculpit ocupa una gran part de la seva producció dins de la qual en destaquem *Baigneurs*, realitzada entre el 1997 i el 2003, *Groupes*, del 2012 i *Grand*, del 2013, i de la resolta en fosa, *Les Jumeaux*, *Archives* i *Séchoir*, totes tres del 2012 i *Elevage intensif*, elaborada entre el 2011 i el 2015.

Unes peces de fosa, si més no peculiars, són les realitzades a partir del besament d'alumini sobreposat; amb aquest sistema rudimentari crea una mena de mapes geogràfics. N'és un exemple *Map*, del 2004.

Urs Fischer

L'artista suís Urs Fischer (n.1973) experimenta amb múltiples materials com l'argila, l'acer, el pa, els objectes i les deixalles i l'alumini fos i també amb diversos processos que van des del dibuix, a la pintura i la fotografia, passant per les instal·lacions o escultures de gran format.

Amb imatges irreverents o plenes d'humor, com la d'un rinoceront que va replegant sobre la seva esquena infinitat d'objectes quotidians (metàfora que es pot associar al consumisme i l'acumulació incessant d'objectes per part dels humans), intenta provocar i crear cert desconcert. Sobre la peça del rinoceront, *Things*, del 2017, que en el seu acabat final ha estat banyat amb pintura platejada, Behringer (2018) aporta:

The artwork is a 10-foot milled aluminum sculpture by Swiss-born artist Urs Fischer, eight years in the making. The rhinoceros itself is based on a 3D-scan of a real taxidermied animal, to which the artist has added 20+ random objects that morph and flail from it. Though the choice of objects is unexplained, they each seem to "show off" his perfectionism in using aluminum to mimic every possible material: the leather of a handbag, the porcelain of a toilet, patterned fabric, and my favorites: a potato-chip bag and a cardboard pizza box... all aluminum... all unbelievable. (par. 2)

Soprèn que el fresat hagi estat el procés tècnic seleccionat per a l'elaboració d'aquesta escultura, essent una pràctica excepcional en una obra d'aquestes dimensions⁸⁵, 318 x 519 x 301 cm.

⁸⁵ El tema de rinoceront sembla un punt de trobada per a uns quants artistes com Chie Hitotsuyama, que realitza escultures a mida real d'aquest mamífer amb paper i cola; Michel Loeb, que pren el mateix animal per model i el reproduïx amb resina i posteriorment el decora amb estampats de flors i punts de colors o William Pérez, artista cubà que en va fondre un exemplar amb alumini. El *Made in Cuba*, del 2008, de Pérez, és de dimensions reals i està construït a partir de peces que poden tornar a desmuntar-se, ja que cap d'aquestes està soldada; el seu acabat és el de l'alumini tal com surt després de treure'l del motlle de fosa, plata mat (Pérez, s/d).

Fischer també realitza un altre tipus d'obra a partir dels apilaments de petits pessics de material plàstic com pot ser fang, cera o plastilina on es queden reproduïdes amb detall les emprems dels dits. Amb sistemes d'escanejat digital dels volums resultants trasllada la forma a un model on es multiplica l'escala, unes cinquanta vegades la mida original, assolint dimensions monumentals (Chamberlain, 2020, par. 4). A partir d'aquest model de grans dimensions es realitza la fosa, sembla que a la cera perduda; en unes imatges del procés de construcció de l'escultura *Big Clay 4*, del 2013-2014, portat a terme a Moscou, s'aprecia l'interior de la peça fosa amb els conductes de colada que es mantenen com a reforç estructural de la peça⁸⁶.

Gregor Gaida

L'artista polonès Gregor Gaida (n.1975) resident a Bremen, Alemanya, realitza escultures figuratives sobre animals i persones, habitualment nens o adolescents, la temàtica de les quals se centra en l'agressivitat i la violència.

Els materials que utilitza per a formalitzar la seva producció són la fusta, la resina de polièster o l'acrílica i també l'alumini fos. En una entrevista feta per Ingo Clauß (2011) a la pregunta "you're a trained wood carver, but for several years now you've been working increasingly with other materials, such as aluminium, polyester resin and cement. How has the extended spectrum of possibilities changed your work?", Gaida responia:

I have a great affinity with wood. When I started studying I worked almost exclusively with wood, which certainly has something to do with my previous training. I've also been experimenting with other materials, which provide me with many more stylistic elements. I'm becoming more and more intrigued by new materials and I experiment with new combinations. Then I try to develop a new visual idea out of a material's peculiar qualities. (p. 91)

En el seu "bestiari" particular, multiplica i fusiona animals, normalment de la mateixa espècie, en un sol volum, donant com a resultat una mena de brutal siamessisme mutant. En són un exemple *Sunbird Diptychon*, del 2012 o *Polygonal Horse II*, del 2011, les dues d'alumini fos. En altres ocasions n'extrau fragments com en *Canis major*, de resina, duta a terme durant el 2014, un recurs que també emprà en les representacions de persones. En altres casos, com en *Lateral IV*, del 2007, d'alumini fos, amb el cap pintat de negre reforça la contundència mòrbida del cos ignorant les cames.

L'escultor s'inspira, fonamentalment, en les imatges que recull dels mitjans de comunicació (Clauß, 2011, p. 91); d'alguna manera congela la fotogràfica en format tridimensional generant un discurs narratiu d'històries concretes.

En la instal·lació *Attaboys*, del 2012, dos nens iguals materialitzats amb alumini fos, destrossen el terra en l'acció de marcar una línia en direccions oposades; segons sembla, aquesta instal·lació és una reinterpretació d'un altre conjunt d'escultures realitzat el 2008 amb resina de polièster, *Kind und Kreide II*, que possiblement, degut al que representa, dos

86 Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_*El color en l'alumini dels 2000*.

nois d'aparença similars guixant una línia en el paviment, tingui el seu origen en una imatge fotogràfica o en una escena quotidiana (Jobson, 2012).

Paolo Grassino

L'artista italià Paolo Grassino (n.1967) resident a Turin, planteja la seva producció al voltant de temàtiques surrealistes vinculades a les pors individuals, els aspectes fantasmals i foscos de la vida amb un rerefons de filmografia de ciència-ficció-terror.

Aquest artista treballa amb diversos materials: inicialment materials trobats, però també amb cautxú, fusta, poliestirè, cera, cables elèctrics, ferro, alumini fos o extrusionat. Les obres barregen els materials artificials amb les formes animals o humanes, proposant una visió traumàtica de la societat actual i futura; en *Turmoil*, del 2018, "the subject of the representation is a pack of black dogs. The dog, man's companion, has lost its senses and is represented without ears, without a tail and with no distinctive traits, going back to a larval and primitive state, where instinct prevails over reason" (Eduardo Secci, 2018, par. 5).

Dins de la sèrie *Zero*, Grassino ha fet algunes obres amb alumini fos. *Zerotre & Zerodue*, del 2005, consta de dues figures humanes d'alumini fos de grandària natural; les dues peces, sense rostre en un dels casos i en l'altre, substituït aquest per un feix de branques, cobreixen el seu cos i el seu "cap" únicament amb una dessuadora, transmeten una situació inquietant en la qual sembla que l'escultor vol retratar un estat de decadència i aïllament relacionat amb els joves de l'època. L'alumini està

tractat de manera diferent en cada una de les figures modificant la coloració. Aquestes obres pertanyen al Museu Würth de La Rioja (Espanya).

Altres versions d'aquests personatges fosos en alumini es presenten de forma autònoma com en les dues versions de *Zerodue*, del 2007; en aquest cas, una d'aquestes interpretacions no mostra un buit en l'obertura on suposadament hi hauria d'haver el rostre, sinó que es presenta en tot el seu conjunt com un dens volum. Entre la seva obra en alumini fos, força extensa, trobem peces que la superfície es presenta nua, amb l'aspecte del metall possiblement sorrejat, com en *Erosione*, *Cardiaco* i *Travasi*, totes tres del 2011 o *Analgesia*, del 2012⁸⁷.

Anish Kapoor

L'escultor Anish Kapoor (n.1955), que ja ha sigut tractat anteriorment en els noranta, continua produint al s.XXI les seves peces emmirallades com "The Bean", nom popular assignat per la seva semblança amb una mongeta gegant; de *Cloud Gate*, de 98 tones, està situada a la Plaza AT&T, al Milleniu Park de Chicago i fou realitzada entre 2004 i 2006. Està construïda amb 168 plaques d'acer inoxidable soldades entre si, amb una superfície perfectament polida. La popularitat de la peça rau, en bona part, en els reflexos distorsionants de les superfícies emmirallades.

Mountain, del 2001, és una peça sorprenent que s'allunya dels formats ovoides; està construïda amb superposició de 120 plaques horitzontals

⁸⁷ Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_*El color en l'alumini dels 2000*.

d'alumini, de 2 cm de gruix, retallades amb precisió amb un sistema de raig d'aigua programat digitalment. Les seccions recorden les corbes de nivell d'un mapa orogràfic. Aquesta obra va ser encarregada per la ciutat de Malmö, a Suècia per a l'exposició "Bo01". La muntanya d'alumini té una cavitat interior, difícilment apreciable des del pla del terra, que recorda el cràter d'un volcà amb la característica que té forma de 8 o de símbol d'infinít.

La construcció per estratificat en el camp de l'escultura és un recurs que s'ha anat consolidant a mesura que s'han anat incorporant els productes comercialitzats amb seccions industrials, especialment per realitzar prototips de talla, darrerament resolts amb sistemes digitals i amb robots de fresa. Observem aquesta pràctica en l'elaboració de models resolts amb blocs de poliestirè o la ja més clàssica dels taulons de fusta. En metall s'està advertint en escultures recents; *Mountain* aporta la visualització del sistema emprat⁸⁸.

Atelier van Lieshout (AVL)

Joep van Lieshout (n.1963), artista nascut als Països Baixos i resident a Rotterdam, és el fundador de l'Atelier Van Lieshout, equip de treball amb un recorregut de reconeixement internacional. Elaboren productes artístics a mig camí entre el disseny, l'arquitectura i l'escultura. Amb la intenció de desmitificar el fet artístic, no reconeixen cap diferència entre l'obra d'art i la dissenyada o construïda amb finalitats funcionals, com tampoc l'autoria genial de l'artista; per aquesta raó treballen col·lectiva-

ment. Tracten temes relacionats amb el poder i la política en la gestió de la vida i la capacitat de resposta autònoma; per abordar aquestes inquietuds proposen reformulacions creatives sorprenents.

Els treballs més reconeguts de l'Atelier van Lieshout han estat les obres d'habitacles amb freqüència resolts amb carcasses de polièster i fibra de vidre, però també amb altres materials. Amb tubs de ferro presenten estructures d'interiors modulables amb el propòsit que siguin prestatgeries habitables. En les seves obres hi ha una proposta d'autogestió alternativa com en *AVL-Ville*, del 2001, una proposta d'estat lliure relacionat amb l'art que va durar un any o de supervivència autònoma individual com en *Autocraat*, del 1997, cotxe de supervivència per viure en llocs remots *Tampa Skull*, del 1998, quantitat mínima absoluta d'espai que necessita un cos humà i fins i tot, amb aquest desig de mobilitat creativa i pedagògica, un laboratori d'art mòbil *The Good, the Bad and the Ugly*, del 1998.

Darrerament, estan treballant amb alumini fos unes obres, *Humanoids*, del 2019, que recorden personatges amorfs i com el seu nom indica, van relacionades amb el seu interès pel trident home-màquina-humà. Aquest conjunt de 9 escultures, instal·lades en un espai exterior, el Collins Canal Park de Miami, es comporten a mig camí entre mobiliari urbà, joc d'infants i escultura autònoma (Atelier Van Lieshout [AVL], s.d.). L'alumini nu de volums arrodonits, planteja cert contrast entre la fredor grisa del metall i la proposta d'accessibilitat de l'objecte.

Rita McBride

L'artista estatunidenca Rita McBride (n.1960) resident a Nova York i

88 Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_El color en l'alumini dels 2000.

Roma és també professora a la Kunstakademie de Düsseldorf. Ha mantingut una trajectòria internacional amb produccions post-minimalistes acompanyades en alguns casos amb activitats performatives. La seva obra té un caire constructiu en la mesura que reflecteix estructures arquitectòniques actuals alterant-ne els formats, reduint i ampliant escales i emprant materials diversos. Proposa contrastos entre els sistemes de producció industrial i la manufacturada o entre àmbits culturals oposats.

Amb alumini ha resolt diferents tipus de peces, algunes d'elles amb procediments constructius, com *Servants and Slaves (Domestic)*, del 2003, resolta amb alpaca i alumini. Pren com a model els conductes de ventilació, aspectes ocults de l'arquitectura. *Parking Ramps (South)*, del 2000, al·ludeix a uns elements estructurals molt concrets, les rampes nues de les escales de servei d'un edifici; aquesta obra està fosa en alumini, mantenint l'aspecte gris i la textura posterior a la fosa, recordant l'aspecte cru del formigó estructural de les edificacions. Les dues obres pertanyen a la col·lecció del Museu d'Art Contemporani de Barcelona (MACBA).

Amb aquestes obres planteja els aspectes estructurals de les edificacions, ocults per materials d'embelliment; d'aquesta manera formula una metàfora relacionada amb els agents oblidats de la història de la industrialització, dels treballadors invisibles, les classes marginals, que han construït les infraestructures i les edificacions o les han utilitzat⁸⁹.

Seung Mo Park

Seung Mo Park (n.1969) és un artista coreà que realitza escultures hiperrealistes i retrats fotogràfics de gran format. Destaca per la meticulositat del seu treball en la resolució tècnica de cada una de les seves obres. La seva producció és extraordinària, assolint projecció internacional.

Inicialment, va provar diversos materials com la palla per a intentar elaborar els seus retrats i posteriorment o intentà amb l'alumini. Aquest, fàcil de treballar per ser molt mal·leable va ser una de les primeres opcions amb potencial per a crear les seves obres, però aquesta virtut del metall també li conferia certes dificultats, ja que se succeïen enfonsaments no desitjats en la forma pretesa. Actualment, treballa amb acer (malla metàl·lica), els retrats tridimensionals i en alumini i altres fils de metall com el de coure o bronze, en les escultures.

El seu estil realista, que dona vida a les seves escultures, és contrastat amb la fredor i neutralitat del metall. En fil d'alumini trobem una extensa producció, de la que en destaquem *Yu Hyeon Jeong*, del 2009, i *Son Myung Hee* i *Kim Seung Su*, totes dues del 2010.

Lorenzo Quinn

L'artista italià Lorenzo Quinn (n.1966), resident a Catalunya, realitza un tipus d'obra figurativa que pren com a referència artistes paradigmàtics de l'història de l'escultura clàssica.

89 Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_*El color en l'alumini dels 2000*.

Les escultures de mans de Quinn han esdevingut la firma de la seva “marca”. Ha treballat intensament les possibilitats expressives de la gestualitat d'aquesta part de les extremitats, utilitzant el bronze o l'alumini o de vegades, en una mateixa escultura, combinant-los. Aquest diàleg, entre els dos metalls, és un recurs habitual en les seves creacions. En *Empowerment*, del 2013, dues mans de bronze polit subjecten una petita bola del món d'alumini; en una de les versions de *Keeping me on my toes*, del 2019, on la temàtica emprada ja no són les mans, un peu de bronze calça una sabata de taló d'alumini, on el taló es representat per un home nu; en d'altres, com *Sosteniendo el mundo* i *Equilibrando nuestros mundos*, empra el mateix recurs, però la intensa patina verda que aplica al bronze contrasta amb l'alumini de tonalitats grises i platejades.

En *La fuerza de la naturaleza II*, de la qual n'ha realitzat diverses edicions, combina el bronze, amb el que plasma la figura femenina (la naturalesa) que exerceix la força centrífuga necessària, donant la sensació de gir sobre si mateixa, per a mantenir la Terra en suspensió (o en suspens) amb una platina d'acer inoxidable, que fa de resistent nexa d'unió entre la força de la Naturalesa i el planeta i l'alumini, que materialitza el “planeta blau”, dotant-lo de poc pes, aprofitant la baixa densitat d'aquest metall i aportant lleugeresa tècnica a l'escultura. L'acabat de la bola d'alumini varia, combinant superfícies mats o brillants, que es van alternant segons l'exemplar, entre la representació de les zones terrestres i les aquíferes, conservant les variants de color típiques de l'alumini, del gris al platejat.

Per últim anomenarem l'escultura *Dar y tomar*, del 2017, que l'escultor va donar a la ciutat de Castelldefels (Catalunya) i que es troba instal·lada al

passeig marítim de la mateixa. L'obra fou realitzada amb l'alumini resultant de les llaunes foses que els veïns de la ciutat es van encarregar de reciclar (Casals, 2014; CastelldefelsTV.org, 2013, 1m30s).

Marc Quinn

L'artista anglès Marc Quinn (n.1964), resident a Londres, amb una carrera de quasi tres dècades és reconegut arreu del planeta.

Tracta temàtiques relacionades amb la vida, la fragilitat d'aquesta; la dependència dels mitjans actuals; les imposicions dels cànons de bellesa i els conflictes socials per a reconèixer identitats sexuals; la relació de l'home amb la natura i també connecta freqüentment amb la història de l'art, des dels mestres moderns fins a l'antiguitat. Per a dotar d'aquest contingut les seves obres utilitza fonamentalment el cos humà, però també formes de la natura. Realitza escultures, instal·lacions i pintura amb materials variats com sang, pa, marbre, acer inoxidable fos o planxes d'alumini.

Va començar a sobreeixir a principis dels anys noranta, quan ell i diversos companys van redefinir què era fer i experimentar l'art contemporani. Quinn va cridar l'atenció l'any 1991 amb la seva escultura *Self*, iniciada en aquest any, en la qual va omplint i reeditant bianualment el motlle del seu propi cap íntegrament amb la seva sang; per a mantenir la peça congelada, a temperatures sota zero, fa ús d'un sistema de refrigeració ubicat en la mateixa base expositora.

A la Galeria White Cube de Londres presenta el 2015 la sèrie *The Toxic*

Sublime, fosa en acer inoxidable. A partir d'una petxina real que ha estat trencada per humans, la forma trobada s'amplia a gran format mitjançant una impressora 3D. La superfície exterior de la petxina, molt texturada, transmet la seva història com ho fan els anells d'un arbre, i contrasta amb l'interior polit reflectant.

La instal·lació *The Sound of Silence*, del 2013, d'alumini fos, cable d'acer i un motor, és un mòbil de vuit metres d'ample i quatre metres d'alçada, ubicat dins un espai fosc; els protagonistes són avions d'alumini lleugerament il·luminats. Aquesta obra tracta el tema dels conflictes bèl·lics. Sembla que els avions estiguin a punt d'estavellar-se i les seves ombres projectades a terra presenten un paisatge esgarrifós. Els avions en vol, de joguina, són un motiu tradicional pels mòbils de bressol que, paradoxalment, aquí es converteixen en una amenaça.

Held by Desire (Tundra Fossil Fuel), del 2014, d'alumini fos, reproduïx la forma d'un bonsai a gran escala, 250 x 239 x 209 cm. Un bonsai és un arbre diminut a causa d'una poda contínua per a mantenir-lo en una mida antinatural i representa la submissió de la natura al nostre propi desig. Les versions ampliades dels bonsais compleixen l'anhel de créixer fins a convertir-se en un arbre desenvolupat, adult⁹⁰.

Karin Sander

L'alemanya Karin Sander (n.1957) és una artista de prolongada trajectòria i reconeixement internacional. Ha estat professora convidada en dife-

rents escoles i acadèmies d'art prestigioses dels Estats Units i d'Alemanya; des del 1999 exerceix a la Kunsthochschule de Berlín-Weissensee i des del 2007 ocupa la càtedra d'arquitectura i art de la Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) de Zuric.

Catalogada com artista conceptual parteix d'idees senzilles per obtenir resultats singulars i sorprenents, freqüentment amb complexitat tècnica. Amb la seva obra aborda el context institucional o històric, intervenint, assenyalant o induint a la participació. Utilitza diversitat de mitjans com el dibuix, la pintura, l'escultura, el cinema o la fotografia i no dubta en emprar tècniques diverses; entre aquestes, les digitals.

En alumini destaca el monument dedicat al ministre, reformador important, Joseph Graf Montgelas, elaborat entre el 2003 i el 2005 i situat a la Promenadenplatz de Munic. Aquesta escultura situada a peu de terra és com un gegant; tot i no tenir peanya, té la mateixa alçada que la resta de monuments sobre personalitats d'aquesta plaça. El missatge sobre la dimensió històrica i la proximitat social de l'homenatjat es fa evident amb aquesta escultura (Sander, s.d.).

Per a executar l'obra, Sander va fer servir tecnologia digital; a partir dels múltiples retrats disponibles, es va confeccionar un model tridimensional utilitzant programes informàtics i tecnologia 3D. La talla de l'obra es porta a terme sobre un bloc d'alumini, amb una fresadora de control numèric per ordinador de mecanitzat horitzontal HMC (Sander, s.d.). Aquest sistema ha deixat una empremta en l'aparença estratificada de la figura completa; el contrast entre la posa i la roba del personatge, de finals del s.XVIII o principis del s.XIX i l'execució amb alumini mecanitzat

90 Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_El color en l'alumini dels 2000.

amb un sistema de cotes resulta força sorprenent. Els missatges parlen de moments històrics absolutament divergents que conflueixen en un moment donat per evidenciar la revalorització actual de les aportacions històriques.

Soledad Sevilla

La reconeguda artista multidisciplinària, Soledad Sevilla (n.1944), nascuda a València, i resident durant molts anys a Barcelona i actualment a Granada, s'inicià a partir de la pintura geomètrica abstracta i derivà posteriorment, cap a treballs d'instal·lació on el color i la llum tenen un paper fonamental.

L'esquelet. L'ombra del sol, desenvolupada entre el 2004 i el 2009 i situada al vestíbul d'accés del nou Hospital de Sant Pau de Barcelona, té un caire mural i translúcid en haver-se realitzat amb plaques d'alumini fos que constitueixen un pla lleugerament ondulat d'uns 12 m. L'enorme làmina "perforada", que crea la unió del conjunt dels fragments, recorda la gelosia d'un emplotat per a vitralls; aquesta complexa escultura fou realitzada amb l'assessorament tècnic de l'empresa Orienta Servicios Integrales i recull cartogràficament l'estructura urbana de Barcelona.

El recorrido, el tránsito, el flujo y la hospitalidad asentándose por todo el territorio. Esa es la idea con la que he elaborado este proyecto. Se materializa en un plano de la ciudad de Barcelona, al que he eliminado las partes construidas, dejando únicamente las calles; transformándose de ese modo, en una gran celosía para ser colgada delante de la cristalera, en el espacio propuesto para ello.

La pieza, fundida en aluminio, abarca la mayor parte de la ciudad, incluyendo el casco antiguo.... El aluminio será patinado para que conserve el aspecto de un plano, dotándole asimismo de la forma ondulada de un papel suspendido en el aire. (Sevilla, s.d.)

Una altra escultura és *Escrito en los cuerpos celestes*, realitzada, el 2011, per a l'exposició que va dur a terme al Palacio del Cristal del Parque del Retiro de Madrid; en aquest cas, l'alumini (una tona i mitja) s'utilitza de forma estructural per a donar forma a l'arquitectura cupular i de voltes, a la vegada que subjecta lamines encunyades de metacrilat blavós que, gràcies a la seva translúcidesa, deixen passar la llum i seguir veient l'espai on està continguda la instal·lació.

Kiki Smith

L'artista alemanya Kiki Smith (n.1954), resident a Nova York des del 1976, s'ha convertit en un referent com artista multidisciplinària que tracta de manera introspectiva temes relacionats amb el cos i aspectes relatius a les dones. En la seva obra es percep una actitud feminista que ella no reconeix. És filla de l'escultor minimalista Toni Smith (1912-1980), la mort del qual l'afectà profundament. A partir dels anys vuitanta desenvolupa una producció figurativa vertiginosa, amb treballs carregats d'emocions sobre la vulnerabilitat i la sensibilitat de les dones.

Kiki fa les obres amb materials i tècniques diverses, algunes d'elles artesanes. Kiki Smith defensa els materials humils que han caracteritzat els treballs tradicionals de les dones i sovint, és qüestionada per plantejar l'escultura des d'una perspectiva efímera.

Cap a mitjans dels vuitanta, les temàtiques sobre les malalties, que torna a viure de prop amb la mort de la seva germana per l'epidèmia de la sida i sobre el cos traumatitzat, la porten a fixar-se en els òrgans i sistemes interns, tractant temes socialment estigmatitzats com ho són els fluids corporals, la sang o el semen; recordem l'obra realitzada amb dos-cents espermatozoides fosos en cristall, *Sperm*, duta a terme entre el 1988 i el 1990. En la segona meitat dels vuitanta realitza foses en bronze d'òrgans del sistema reproductor com *Uro-genital System (Female) i (Male)*, del 1986 o *Womb*, del 1986 i la primera figura humana completa, la d'un *Bebè*, del 1987. Són obres visceralment inquietants que obren una nova perspectiva a l'activitat escultural.

Amb la dècada dels noranta, l'artista ja és plenament reconeguda als Estats Units i internacionalment i centra el seu treball en el cos femení com una entitat vulnerable que no es conté; evidencia un cos que es nega a comportar-se com determinen normes socials i religioses. Són cossos amb apèndixs de pell i carn, fluids incontrolats i cicles i processos reproductius. En *Untitled*, del 1990, reproduceix una parella nua, home i dona, subjectats per un suport metàl·lic, abstrets i allunyats de tots i de tot, amb cossos, que tenen un aspecte carnal propi de la cera, dels que emanen fluids com llet i esperma. Les nombroses obres de paper i cera són majoritàriament de personatges femenins i nenes adolescents, en situacions d'humiliació o de patiment extrem i d'altres, en actituds profundament introspectives, absents en la intimitat de les seves funcions biològiques.

El 1992, després d'una intoxicació per formaldehid mentre preparava ceres, es veu impulsada a canviar de materials i produeix obres de fosa

amb bronze. El canvi de materials li torna a comportar crítiques. Del salt a la tradició de la fosa de bronze, l'autora destaca el seu caràcter històricament efímer, argumentant que ha estat el metall més reciclat, enfront a la pedra, la ceràmica o fins i tot vidre. Kiki Smith és conscient del pes històric que arrossega el bronze com a llenguatge de poder, a la vegada que lamenta la pèrdua de l'aspecte carnal propi dels treballs de cera, però en tot cas, veu en les pàtines fosques un recurs que pot aprofitar. Malgrat tot, els temes i el tractament formal mantenen les línies de treball precedent com en *Untitled*, del 1992, de bronze, en el qual una dona replegada sobre el terra, en una actitud de súplica esquinçadora, estén els braços absurdament llargs o en *Getting the Bird Out*, del 1992 i *Lilith*, del 1994; bronzes foscos, ombrívols, dolorosos i dramàtics.

Als noranta, també enceta altres sèries: bé estimulada per l'educació religiosa, amb personatges femenins de la religió i de la mitologia, com la carnal *Virgin Mary*, del 1992, en cera o la figura de la fertilitat celta, *Shela-na-Gig*, representada en *Untitled*, del 1993, dreta i doblegada sobre els turmells, exposant la seva sexualitat sense pudor, realitzada en bronze o bé preocupada per aspectes ambientals, amb referències al món animal i al paisatge, la instal·lació *Jersey Crows*, del 1995, en bronze, sobre un incident de contaminació per pesticides o *Constellation*, del 1996, amb 28 peces de cristall en forma de serps, lleons, altres animals i estels, en són un exemple.

Nuit, del 1993, representa la deessa egípcia del cel, descrita a voltes com una dona de braços i cames allargassades; aquesta divinitat devora el sol cada nit i el pareix cada matí. Smith la representa per les seves extremitats (en bronze), desmembrades, excloent-ne la resta del cos, les

quals connecta al cel nocturn (estrelles d'alumini anoditzat i acolorat de color blau) amb llana de mohair (Fremont, 2014, p. 12). Aquesta deu ser una de les primeres obres on l'artista utilitza l'alumini.

En les darreres dècades Kiki Smith incrementa l'ús de l'alumini en la seva obra, exposant-la juntament amb dibuixos sobre papers especials que recullen altres figures de dones i animals. Aquestes obres sobre paper, aporten claredat lumínica i creen una sensació de profunditat escenogràfica en la instal·lació. El 2009 presenta a la Fundació Miró de Barcelona la mostra *Her memory*, que recull la seva obra gràfica i també en alumini.

El 2010 va realitzar una exposició semblant al The Brooklyn Museum de Nova York amb el nom: *Kiki Smith: Sojourn*; en aquesta fa referència al cicle de vida d'una dona americana en èpoques posteriors a la independència dels EUA. L'artista planteja un paral·lelisme entre l'acte creatiu, l'activitat tradicionalment laboriosa de les dones en un context familiar d'obligacions i pertinences, la generació de vida, així com les diferents etapes de la vida associades al despertar, explorar, elaborar i reflexionar (Sutton, B., 2010). *Sojourn* al·ludeix al potencial creatiu de les dones. En aquesta exposició es podien veure obres d'alumini, realitzades el 2008, representant dones en diferents actituds i etapes de la vida, de grandària natural com *Singer*, del 2008. La sèrie d'obres vinculades a la religió reapareix amb *Annunciation*, del 2008, en alumini fos, evocant el moment de la fecundació espiritual en paral·lel al de la inspiració creativa. En altres obres barreja diferents metalls aportant tonalitats i coloracions significatives; en *Messenger II* i *Messenger III*, i en *Search*, les tres del 2008, utilitza alumini fos, or blanc i pa d'or.

En Kiki Smith podem observar com l'aplicació de diferents tipus de materials li permet jugar amb les sensacions lumíniques, fet que ens permet establir relacions amb el tema tractat. Així veiem com de les ceres i el paper destaca la similitud amb l'aspecte carnal de la pell; amb el vidre, en algunes ocasions juga amb la transparència brillant del material permetent-li al·ludir a organismes com els espermatozoides esmentats i en altres, aportar la sensació de profunda fragilitat. El bronze per la seva banda, trenca rotundament amb els efectes lluminosos de la cera i el vidre, oferint una opacitat rotunda, gairebé negra, que transforma la percepció volumètrica de l'objecte i aporta en les seves obres una densitat emocional quasi tenebrosa. En el cas de l'alumini, aquest actua de manera inversa al bronze, definint amb la seva tonalitat grisa, els aspectes formals de les obres, únicament desdibuixats per la claredat que adquireix la seva superfície a causa dels reflexos lumínics, efecte que endemés aporta a aquestes darreres obres una sensació de lleugeresa i de serenitat transcendent⁹¹.

Manolo Valdés

L'artista valencià, resident a Nova York des de la dècada dels noranta, Manolo Valdés (n.1942), té una llarga trajectòria internacional com a pintor i com a escultor. Fou fundador, en plena dictadura franquista, del grup Estampa Popular de València (1964-1968) i del Equipo Crónica (1964-1981). Ell, Juan Toledo inicialment i Rafael Solbes, treballaren amb un llenguatge proper al pop, ple d'humor i d'ironia i amb contingut

91 Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_*El color en l'alumini dels 2000*.

polític i social. A partir de 1981, després de la mort del company de l'Equip Crònica, Solbes, va continuar la carrera en solitari (Museo de Bellas Artes de Bilbao, 2015, pp. 2-3; Rosenberg, D., 2018, pp. 13-14).

Durant els anys vuitanta es va dedicar cada vegada més a l'escultura amb fusta, però també amb altres materials com el plom, el zinc, el granet, l'alabastre, la ceràmica i el vidre entre d'altres. El 1898 es trasllada de València a Nova York on munta l'estudi i a partir del 1992, l'escultura va agafar més protagonisme, encara que continuà pintant. En un determinat moment alterna taller entre Madrid i Nova York.

A partir del 2000 realitza escultura pública monumental com La *Dama Ibérica*, del 2001, versió de més de 18 metres d'alt, fabricada amb ceràmica blava i situada a l'avinguda de les Corts Valencianes, a València. A Madrid es pot trobar *La Dama del Manzanares*, del 2003 i també altres peces d'aquesta mena a ciutats de l'Estat espanyol i d'altres països.

La temàtica femenina és una constant en la seva obra, s'inspira en imatges de l'art dels segles XVI i XVII, amb referències a l'obra de Velázquez, Rembrandt, Rubens, Picasso o Matisse. Aquests personatges femenins solen tenir rostres desdibuixats, impersonals i tractats amb volums suaus, arrodonits i texturats (Rosenberg, 2018, pp. 14-15).

La fosa de bronze també es converteix en un recurs habitual, amb nombrosos exemples de menines i caps, amb versions de grandàries i també d'aliatges, com el bronze blanc, a més a més de patinats o tractaments superficials diferents. Tant les menines com els caps tenen edicions anteriors en fusta o alabastre i posteriors també, amb alumini fos.

La fosa d'alumini assoleix protagonisme dins de la seva obra monumental, sempre tractant l'aparença metàl·lica natural grisenca, sense aplicar color. L'alumini li permet un joc suau de llums que s'adapta a les formes apomades i als contrastos expressius dels múltiples tocats.

De la sèrie sobre papallones, a finals de la primera dècada d'aquest segle, n'executa una versió de format mitjà, *Cap amb papallones platejades*, del 2009, amb alumini platejat que destaca per l'aspecte brillant i metal·litzat propi d'una joia; aquesta és una pràctica freqüent en peces petites de bronze daurat o bronze blanc. Entre les peces monumentals en alumini poden destacar obres com *Butterflies*, del 2012, de 6 m d'alçada de la qual impacta l'exuberància del conglomerat de papallones que suporta el cap.

La obra... fue realizada a principios de año en aluminio, un material que permite un "extraordinario juego de luces sobre su superficie a la vez que proporciona la fuerza de tensión necesaria para soportar el monumental tocado de nueve metros de ancho". (Torres, 2010, par. 4)

Helechos Plateados, del 2013, és una altra obra fosa en alumini de mesures monumentals que es pot localitzar a Ginebra, Suïssa. Del mateix material fos podem veure, un altre cop a València, *La Pamela*, realitzada entre el 2015 i el 2016, de 385x680x680 cm i un pes de 4.140 kg, es troba instal·lada a La Marina de València, a prop del Tinglado núm. 2 del Port⁹².

92 Sobre aquest artista veure també l'apartat 1.2.7.3_*El color en l'alumini dels 2000*.

Hanna Vihriälä

L'escultora fina i Hanna Vihriälä (n.1974) ha aconseguit una projecció internacional i ha realitzat un seguit d'obres per museus i espais públics.

Realitza instal·lacions amb caramels i boles de cristall multicolors ocupant espais de gran superfície. També ha treballat amb altres materials tradicionals com la pedra i la fosa en diferents tipus de metalls.

En fosa d'alumini *Calvus, nuori ukkospilvi* (en cat. *Calvus, un joven true-no*), del 2008, ubicada al parc Haukkavuori de Kotka (Finlàndia), ha estat construïda a partir de la fosa de diferents globus inflables d'animals, un conill, un os i un dofí entre d'altres, remetent ràpidament a l'obra de Koons, però en el cas de Vihriälä l'alumini no ha estat acolorat amb colors vius, sinó que solament ha estat envellit; recurs que emprava habitualment en la seva obra realitzada en aquest metall. En *Päivänvalossa* (en cat. *A la llum del dia*), del 2017, instal·la un seguit de figures de nens de diferent alçada amb abric i caputxa, sense cara, creant una mena d'escena de terror. Seguint amb les joguines *Happilautta* (en cat. *Bassa d'àcid*), del 2019, situada al centre de benestar Kontingangas de la ciutat d'Oulu (Finlàndia), és una escultura realitzada amb nombroses joguines de pel·lisses foses en alumini que en conjunt creen un conglomerat nebulós.

Huang Yong Ping

Una espectacular escultura, per les seves monumentals dimensions (130 m) i pel seu emplaçament, és la *Serpent d'océan*, del 2012, de l'escultor franc-xinès Huang Yong Ping (1954-2019); un esquelet d'alumini

de serp marina, que sembla desplaçar-se serpentejant on l'oceà Atlàntic es troba amb l'estuari de Loira, a França⁹³ (Mancoff, s/d; Estuaire, s/d). A causa de la seva ubicació, les mareas provoquen un efecte de cobriment i descobriment que es tradueix en múltiples percepcions de la instal·lació escultòrica, a més a més, el color de les algues "tenyeix" de verd les parts de l'escultura que estan més constantment submergides creant un contrast amb el gris mat que ha anat adquirint l'alumini (Lorang i Beautru, 2014).

Aquest gris que ha adoptat el metall és un signe evident de la corrosió a la qual està sotmès; l'aigua de mar i per tant, l'atmosfera marina, acceleren els processos de corrosió metàl·lica. Aquests efectes s'amplifiquen quan més ens apropem a la línia de costa, a causa del nivell de salinitat més elevat (Chico et al, 1998). Per tant, per a suportar l'atac constant dels elements corrosius, l'escultura haurà d'haver estat fosa amb un aliatge amb propietats aptes per a conviure amb aquest ambient i segurament, se li haurà aplicat un anoditzat de protecció.

D'aquesta espectacular peça, Yong Ping en feu diverses versions, la majoria en alumini, com la *Tower Snake*, del 2009, la *Ressort*, del 2012, la *Bâton Serpent*, del 2014 o la que formà part de la instal·lació *Empires*, del 2016, de 240 metres, que s'escorria entre 305 contenidors marítims i un bicorn gegant, rèplica del que usà Napoleó. (Museo nazionale delle arti del XXI secolo [MAXXI], s/d, par. 14; Wullschlager, 2016)

⁹³ Aquesta escultura va ser instal·lada amb motiu del certament d'escultura i arquitectura, Estuaire Nantes<>Saint-Nazaire, en la seva edició del 2012 celebrat a França, entre els seixanta quilòmetres del recorregut del riu Loira, que uneix les ciutats de Saint-Nazaire i Nantes.

Toby Ziegler

L'artista britànic Toby Ziegler (n.1972), resident a Londres, realitza un tipus d'obra que oscil·la entre la figuració i l'abstracció en sentit literal.

La seva metodologia de treball segueix un procés d'abstracció a partir d'imatges pictòriques com les d'artistes flamencs com Bruegel el Vell o fotografies d'elements arqueològics. La imatge és tractada per ordinador, transformant-la en formes geomètriques basades en la triangulació modular. Són el que s'anomenen imatges CGI (Computer Generated Imagery).

De vegades utilitza planxes d'alumini per als seus treballs de pintura a l'oli; en el cas de l'escultura, treballa amb cartró o fusta en el plantejament i finalment, utilitza làmines d'alumini. Aquestes, que fan la funció d'elements modulars, li serveixen per a construir la forma geomètrica, el volum abstret.

En fosa d'alumini realitza *Slave*, del 2017, un personatge amorf en el qual fa servir el paradigmàtic recurs d'equilibri del cos amb el "contrapposto", fent referència a l'escultura *Madeleine I*, del 1901, d'Henri Maatisse o a l'*Esclau moribund*, del 1516, de Miquel Àngel.

Per a la creació de *Slave*, Ziegler va modelar una figura usant el sistema de xurros de fang per imitar l'estètica constructiva d'una impressora 3D. Seguidament, d'aquest model en va treure una còpia virtual per escanejat i finalment va fer una ampliació amb 3D. Finalment, amb els motlles

pertinents va executar la fosa d'alumini; la forma resultant, ampliada en relació amb el model original, recull les incidències d'execució del procediment inicial dut a terme amb fang.

Una escultura realitzada de forma similar, però en una positura diferent, és *Self-portrait as reclining nude II*, del mateix any que l'anterior, el 2017; en aquest cas sembla imitar la posa de *La maja desnuda* de Goya, anterior a 1800, o la de les múltiples *Reclining Figure* de Henry Moore, assimilant-se en excés a la *Reclining Figure*, realitzada en pedra, del 1929.

1.2.4.3_ El color en l'escultura d'alumini dels 2000

Santiago Calatrava

Aquest arquitecte, tractat anteriorment, s'inclou en aquest apartat perquè l'alumini acolorat també participa de la seva escultura. En aquesta darrera dècada Calatrava ha tingut alguns projectes d'escultura als EUA; el 2005 va exposar al Metropolitan Museum of Art de Nova York, i anteriorment, el 1993, ja ho havia fet al MOMA, a banda de les exposicions de l'Hermitage a Sant Peterburg, el 2012 i al Museu Vaticà de Roma, el 2013.

El 2015 va instal·lar temporalment, en la mitgera de l'antiga 4a Avinguda, actual Park Avenue de Nova York, set enormes escultures d'alumini, denominades *S* i el número corresponent; la més alta, de la sèrie també anomenada *On Park Aveniu*, fa 5,5 m i la més llarga 11,1 m i els colors que les vesteixen són el vermell, el negre i el platejat. La vena mediterrània li surt a Calatrava a través dels referents formals d'aquestes obres

construïdes a partir d'un eix corbat del qual van sobresortint gradualment múltiples fulles de diferents longituds; la imatge estructural d'una nervadura arquejada d'aquesta mena ens remet inevitablement a les fulles de palmera. L'obra de Gaudí és molt present en bona part de l'arquitectura del valencià. Tres de les peces han estat construïdes a Cleveland, per l'empresa AMECO USA, especialista en mètodes innovadors aplicats a l'enginyeria.

Recentment, el 2019, Calatrava ha instal·lat una obra pública permanent a Chicago, Illinois, titulada *S25* i coneguda com *La Constel·lació*. Chicago va ser pionera als anys seixanta i setanta en col·locar a l'espai públic, carrers i places, obres de primera línia de l'art contemporani, amb artistes com Picasso, Miró, Chagall i Calder i en dècades posteriors, de Kapoor o d'en Plensa entre altres. La *S25* està situada en un enclavament destacat de la ciutat, la River Point Plaza, un esplèndid passeig fluvial del centre de la ciutat, envoltat de nous i antics gratacels. L'escultura té de fons l'edifici d'oficines River Point, finalitzat el 2018. La seva ubicació en un extrem de la plaça de disseny parabòlic, en simetria amb l'arc parabòlic de la façana de l'edifici, magnifica la seva presència.

Aquesta escultura d'alumini en forma de fulla de palmera en espiral ascendent projectada en diagonal, recorda el moviment dels tradicionals coets borratxos valencians. L'obra es mou en l'espai, escapant de la servitud projectual plana de les peces anteriors. Té una alçada de quasi 9 m i està construïda per l'empresa anomenada anteriorment, amb 200 peces d'alumini sobre una estructura d'acer. El color vermell de l'obra destaca sobre el fons blavós del vidre reflectant que recobreix l'arcada parabòlica. El contrast de color i els reflexos que es poden observar

sobre la façana de l'impressionant edifici, volen emular l'obra de Calder, *Flamingo*, del 1973, situada davant del Federal Center de la mateixa ciutat. Els efectes lumínics sobre el riu l'hi aporten un dinamisme espectacular.

John Chamberlain

L'estatunidenc John Chamberlain (1927-2011) va estudiar a l'Art Institute de Chicago entre el 1950 i el 1952. En aquest moment comença a fer escultures en acer influenciat per l'obra de David Smith, Franz Kline i Willem de Kooning. Posteriorment, estudià i ensenyà escultura al Black Mountain College de Carolina del Nord.

Chamberlain és considerat un dels més importants escultors nord-americans de la postguerra. Les seves característiques escultures de metall rebregat procedent de restes de vehicles revelen tant la gràcia com l'expressivitat plàstica dels materials industrials. Explorant la interacció del color, el pes i l'equilibri, les seves obres aprofiten l'energia de l'Expressionisme Abstracte, els elements prefabricats de l'Art Pop i el Minimalisme i els plecs provocatius del Barroc.

L'origen del seu treball en alumini se situa a l'estiu del 1958 quan Chamberlain va treure els parafangs d'un vehicle abandonat i els va xafar amb el seu cotxe, deformant-los, doblegant-los i arrugar-los fins a eliminar el seu aspecte original; el resultat li va semblar suggerent i ple de vitalitat.

Des d'aleshores va continuar investigant i perfeccionant el treball amb aquest material realitzant moltes més escultures amb peces de carros-

seria; combinava fragments, els plegava, comprimia, els donava ritme i moviment, aconseguint escultures expressives, intrigants i carregades d'emoció.

Després d'aquest període va continuar l'acte de doblegar i arrugar, en aquest cas amb bosses de paper i paper d'alumini, realitzant una sèrie d'obres que anomenava "Escultures instantànies"; peces de només 10 cm d'alçada, fetes amb les mans i sense eines.

Amb aquesta pràctica l'artista establí un diàleg obert amb els materials, amb les seves qualitats específiques (densitat, pes, flexibilitat...), portant-los fins als seus límits físics, aturant-se en el moment precís, abans que el material es trenqués. Amb aquesta activitat no pretenia dominar els materials sinó explorar les seves característiques.

La intenció de l'artista era reproduir aquestes petites escultures, fetes de materials poc estables estructuralment, a una escala molt més gran, però no va saber superar les dificultats tècniques, com mantenir-les estables i equilibrades, ni quin material seria l'apropiat fins que va conèixer, el 2007, a Ernest Mourmans, director d'un reconegut taller de Bèlgica especialitzat en treballs amb metalls i altres materials; fins al moment, l'escultura més gran que havia fet Chamberlain amb aquest sistema era aproximadament de 30 cm d'alçada (Thierolf, 2018, p. 69).

Mourmans va ser capaç d'imaginar una manera d'ampliar les petites escultures fins a 5 metres d'alçada sense perdre la lleugeresa, la franquesa, l'espontaneïtat i la textura dels fràgils models originals. Així va començar una relació de treball fructífera i intensa; entre el 2007 i el

2011 es van dur a terme, creiem que en fosa d'alumini a gran escala, les 29 miniatures de la dècada dels 80, realitzades en aquell moment amb paper d'alumini. De cada peça en va fer 3 còpies i va escollir quatre colors: plata, verd, coure i rosa, que no es repeteixen dins d'una edició (Thierolf, 2018, p. 69); el sistema d'aplicació de color a l'alumini és un aspecte d'interès per a la present investigació, però en aquest cas no n'hem trobat informació.

ROBUSTFAGOTTO, del 2008, *MERMAIDSMISCHIEF*, del 2009, *PINEAPPLESURPRISE*, del 2010, són escultures embullades, formes que s'enllacen i es flexionen en formes capritxoses i biomòrfiques. Aquestes figures, caragolades i de colors brillants, combinen una sensació extrema de moviment físic amb una estabilitat sorprenent. Chamberlain, una vegada i una altra, va aconseguir utilitzar materials coneguts per crear quelcom desconegut.

Douglas Coupland

L'artista, dissenyador i escriptor d'origen alemany Douglas Coupland (n1961) resident a Vancouver, és més conegut per la seva novel·la "Generacion X" (1991), títol que va servir per a anomenar a les generacions nascudes entre 1961 i 1981, classificades com a rebels per trencar estereotips i models de conducta.

En el cas que ens ocupa, és més del nostre interès la seva escultura *Digital Orca*, del 2009, instal·lada a la Jack Poole Plaze, al costat del Vancouver Convention Center. Aquesta obra està construïda amb una estructura interna d'acer inoxidable recoberta amb planxes d'alumini. La

forma del cetaci que representa, l'orca, s'aconsegueix amb un conglomerat de cubs d'alumini pintats, alguns de blanc i altres de negre, que simulen píxels d'una imatge fotogràfica tridimensional. La distància és la que ofereix una percepció global de l'orca representada, mentre que amb la proximitat, aquesta es descompon, generant sorpresa i un cert neguit sobre la potencial extinció d'aquests animals i d'altres i la futura conservació del seu rastre, exclusivament en imatges digitals.

Tony Cragg

L'anglès Tony Cragg (n.1949) és un dels més famosos i aclamats exponents de l'escultura contemporània. Va estudiar art després d'un període com a tècnic de laboratori; treballar davant un microscopi observant cèl·lules va influir en el seu treball fins a l'actualitat.

La seva producció parteix d'una exploració inquieta i incessant de la matèria i de la seva relació amb l'entorn, d'on sorgeixen nous significats, somnis i llenguatges. Cragg entén l'escultura com un estudi de com les formes i els materials afecten i, per tant estructuren, les nostres idees i emocions. La seva obra no imita la natura ni tampoc com ens veiem, sinó que s'ocupa de per què ens hi assemblem i per què som com som. En paraules de Cragg:

Sculpture is not about copying nature; in its essence, it is about how material and material form affect us. And that has an enormous effect, because everything we have in our heads has come from the material world. (Cragg, com es va citar en Punj, 2017, par. 7)

El 2019, Tony Cragg presentà, en una exposició als jardins de Boboli de Florència, *Industrial Nature*, del 2015; juntament amb 15 obres més, el conjunt de la mostra explicava els últims vint anys de la seva trajectòria escultòrica. Aquesta obra d'alumini policromat presenta la superfície parcialment polida amb la finalitat de revelar les diferents capes de color, deixant entreveure el platejat de l'alumini al fons i fins a arribar a l'última capa de color vermell. Amb aquest tractament, la superfície sembla orgànica, a la vegada que racional i recorda la seva etapa de treball davant el microscopi al mateix temps que reforça com l'artista entén l'escultura "com una oportunitat per entendre la perfecció, i l'objecte, des de dins cap a fora".

En la mateixa línia trobem *Parts of the World*, del 2015 i *Conversion*, del 2017; totes dues d'alumini fos i policromades amb el mateix sistema.

Sobre aquestes escultures Cragg comentà:

What happened with the green work, *Parts of the World*... is that I had previously made *Hardliner* (2013)... *Hardliner* focused entirely on internal structure, without the nice curves and clean finish. That is very often what I am interested in, in the "sub stance" of the appearance of things. What is the substance? What is carrying the form and the appearance of material? I followed those shapes and decided to leave it open. I thought *Parts of the World* was fantastic. It has a feeling of xylem, cells, and organs, of cross-sections, bio-botany, and biology. The red work, *Industrial Nature*, is exactly the same, but a little bit longer, with a square section and slightly canted; all I did was extend the shape. I literally drew the wings and

nuts and leaves on polystyrene, and built them and had them cast and welded onto the block. It took me a long while. It was an incredibly long and expensive journey to have those two works made. (Cragg, com es va citar en Punj, 2017, par. 25)

Elmgreen & Dragset

La parella d'artistes, Michael Elmgreen (n.1961) de Dinamarca i Ingar Dragset (n.1968) de Noruega, formen l'equip Elmgreen & Dragset, resident a Berlín des del 1997. Tenen un recorregut expositiu internacional que els situa entre els artistes de prestigi.

Produeixen obres directament relacionades amb l'escultura, a voltes d'una geometria contundent i de vegades figuratives o instal·lacions d'objectes i materials que sorprenen per la seva ironia i humor. Tracten temàtiques diverses, culturals, socials, d'identitat i pertinença o de gènere.

Dos exemples del seu treball en són el monument del parc Tiergarten a Berlín, el *Memorial to Homosexuals Persecuted Under Nazism*, del 2008, un prisma de formigó amb espai de projecció interior i l'escultura *Powerless Structures, fig. 101*, del 2012, guanyadora del concurs organitzat per a situar una escultura sobre una de les peanyes de Trafalgar Square a Londres, representa un nen amb un cavallet, de 4 m en bronze, que amb ironia quotidiana i sense cap mena d'heroisme confronta amb la figura eqüestre del rei George IV⁹⁴.

94 L'anomenada The Fourth Plinth, ubicada a la cantonada nord-oest de la Trafalgar

Entre les obres públiques figuratives, la fosa en acer inoxidable té un lloc rellevant, *Watching*, del 2016 i *Han*, del 2012, les dues amb acer polit i reflectant, en són força significatives. La versió dels urinaris, *Gay Marriage*, del 2010, que cluca l'ullet al dadaisme, es tractada amb forta ironia. L'escultura fragmentada del cos *Dirty Socks* del 2020, d'acer inoxidable emmirallat amb mitjons blancs, té una versió, *Black Socks* del 2019, en alumini lacat de blanc i mitjons negres. En alumini fos també troben *Too Heavy, rock*, del 2007.

Urs Fischer

L'artista suís Urs Fischer, vist en l'anterior apartat, també aplica color en algunes de les seves obres; en el rinoceront, ja esmentat, *Things*, del 2017, recobert de tota mena d'objectes de consum, aplica una pintura platejada que unifica la coloració metal·litzada de tot el conjunt de fosa constituït de múltiples elements. Amb aquest tractament aconseguix crear una continuïtat visual entre els diferents elements, sense allunyar-se de l'aparença metal·litzada i brillant de l'alumini.

A partir de la tècnica de fosa amb aquest metall, també resol varies de les seves peces que es relacionen amb objectes, la majoria d'ells, acolorits amb pintura de polièster; objectes sobredimensionats, com en *Bad Timing, Lamb Chop!*, elaborada entre el 2004 i el 2005 o deformats i ai-

Square i destinada a allotjar una estàtua eqüestre, es va mantenir buida per falta de fons sense cap escultura permanent, des de l'any de la seva construcció, el 1841, fins a la instal·lació de *Powerless Structures, fig. 101*. Les altres tres peanyes, que coincideixen amb la resta de cantonades, estan ocupades per les escultures a Henry Havelock, a Charles James Napier i a George IV (Fourth Plinth Commission, s.d.).

xafats en el cas del piano i la banqueta d'*Untitled*, del 2009, el canelobre de *Frozen Pioneer*, també del 2009 i el llit d'*Untitled (Soft bed)*, del 2011, entre d'altres.

Isa Genzken

L'artista multidisciplinària alemanya Isa Genzken (n.1948), resident a Berlín, és una figura crucial de l'art contemporani germànic de postguerra. El 2007 va representar al seu país en la Biennal de Venècia. Treballa fonamentalment l'escultura i la instal·lació, encara que també es dedica a la fotografia, la pintura, als treballs sobre paper, al collage i al vídeo, suport amb el qual ha realitzat diverses pel·lícules.

La seva obra, diversa, planteja una sèrie de constants com són la inclusió de referències personals, socials o institucionals, la interrelació amb l'espai dels voltants, així com l'experimentació amb múltiples materials i procediments que acaba derivant en processos d'hibridació que dilueixen les disciplines tradicionals.

L'elecció del material s'ha convertit en un joc preponderant en la dilatada carrera de quatre dècades de Genzken. Als setanta, amb referències minimalistes, realitza escultures relacionades amb la geometria, els cossos i hiperboloides i imatges estereomètriques en fusta lacada; als vuitanta utilitza el guix o el formigó per a les seves peces; i als principis dels noranta, resina epoxi translúcida, que permet veure l'estructura interna de l'obra. Els aspectes estructurals tenen precedents en obres sobre el cos humà dels vuitanta. El 2000 presenta a la Documenta 11 una proposta sobre gratacels de vidre; les referències arquitectòniques s'aniran

reiterant en la seva producció. Les darreres dècades les ha dedicat a l'assemblatge d'objectes trobats i comprats, d'alta i baixa gamma, sense jerarquies.

L'obra més popular de Genzken, *Rose*, del 1993, d'acer inoxidable lacat i de 8 m d'alçada, és una escultura permanent situada al Glass Hall de l'edifici de la Leipzig Trade Fair de Leipzig, Alemanya. De *Rose* n'ha realitzat diferents versions; *Rose II*, del 2007, també de 8 m, realitzada en alumini fos i acer inoxidable lacats, està instal·lada, des del 2010, a la façana del New Museum de Nova York (MoMA, 2019, p. 372).

Malgrat la gran capacitat d'experimentar amb múltiples materials, els procediments tradicionals apareixen molt tangencialment en la seva obra. La rosa d'alumini no deixa de ser una pràctica excepcional, probablement motivada per raons estructurals, al trobar-se situada damunt d'una tija tan llarga i estreta.

Paolo Grassino

Grassino, com ja hem vist, juga amb la coloració pròpia de l'alumini, però també n'explota la possibilitat d'enfosquir-lo o recobrir-lo en gran part de la seva obra. En *Zerotre & Zerodue*, del 2005, juga amb dues tonalitats, la de l'alumini generosament ennegrit en un dels personatges de la instal·lació i cobrint total de la superfície en color blanc de l'altre protagonista.

En altres obres també recobreix les figures d'alumini en color blanc; n'és un cas *T*, del 2009 o amb les tonalitats fosques, *Zerootto*, del mateix any.

Anish Kapoor

Malgrat que l'acer és el material utilitzat amb més assiduitat per Kapoor, també de vegades, fa servir l'alumini, com ja hem tractat anteriorment.

Tot i que el color és un aspecte important en la seva obra i de forma rellevant els pigments (camp en el qual l'anoditzat de l'alumini pot oferir moltes possibilitats), l'acolorat de l'alumini és un recurs poc explotat per l'escultor.

La seva inquietud pels colors i la seva relació amb la percepció de l'espai l'han portat a investigar profusament sobre el tema⁹⁵. Pel que fa a les obres que resol amb pigment com a material escultòric, Kapoor comenta:

What is important about these works is not that they are made out of pigment. The curious thing is that they appear to be made out of pigment. 'Truth to materials,' which was a big thing when I first

⁹⁵ És àmpliament conegut el "negre Kapoor" amb el nom comercial de Vantablack en un principi, la substància o material que proporciona "el negre més negre del món". Donada l'exclusivitat en la utilització d'aquest negre (l'empresa fabricant Surrey Nanosystems en té la patent i en aquesta especifica que Anish Kapoor és l'"únic artista" que pot utilitzar aquest material), la "guerra" per aconseguir un negre més negre està a l'ordre del dia. L'exclusivitat en els colors no és una novetat; són coneguts els casos del "International Klein Blue" o "IKB" patentat per Yves Klein; el "Tiffany Blue", turquesa de la marca de joieria Tiffany & Co. o el vermell de les soles de sabata del dissenyador Christian Louboutin. Un cas peculiar és el del color negre de Stuart Semple. L'artista britànic, en col·laboració amb altres artistes i químics especialitzats, va elaborar i comercialitza Black 2.0 sota la premissa que pot ser emprat per tothom menys per Kapoor en resposta a l'exclusivitat del Vantablack. Actualment, Semple ja a tret al mercat Black 3.0, que segons ell "is the blackest and mattest acrylic paint on the planet"; val a dir que segons els percentatges, la Black 3.0 absorbeix un 99% de la llum visible, enfront del 99,965% de la Vantablack (Amíneddolech & Associates LLC, 2007; Cascone, 2019; Semple, s.d.).

started making sculpture, seemed to hold the whole thinking about sculpture down to the nuts and bolts of its factual realities. It said that what you see is what you get, and I think that art is exactly the opposite. What you see is not what you get! For me the illusory is more poetically truthful than the 'real'. People would often wonder about the pigment pieces – are they really made of pigment? Well, some of them are and some of them aren't, and that has never been a problem for me since I believe an object is read through its skin. I wanted to put truth to materials to one side and say that art is about lots of things that are not present. (Kapoor, com es va citar en Baume, 2008, p. 40)

De forma anecdòtica, dins del volum de la seva producció on el color hi té un paper important, trobem l'escultura *Wave*, del 2003, una peça d'alumini recoberta amb una capa uniforme de pintura lacada instal·lada a la Lisson Gallery de Londres.

Jeff Koons

L'escultor estatunidenc Jeff Koons (n.1955) reencarna a la perfecció la figura de l'empresari artista⁹⁶ i com a tal, sap que per a vendre un producte i ser popular, s'han de fer estratègies publicitàries. Per tant, el màrqueting a estat una peça clau en la seva carrera.

A mediados de los años ochenta, se ganó el desprecio tanto de los críticos de arte de izquierdas, que denigraron su complicidad con

⁹⁶ La dicotomia entre l'empresari-artista i l'artista-empresari.

el mercado con términos como “repulsiva” (Rosalind Krauss) o se quejaron de su fetichismo acrítico del objeto que “halaga en lugar de provocar” (Hal Foster), como de los críticos de “derechas”, que consideraban su entusiasmo por los valores de mercado poco menos que frívolos. (Taylor, 2000, pp. 92)

Catalogat en els seus inicis dins del moviment Neo-Geo⁹⁷ i més endavant com a artista pop (Neo-pop) i Kitch, per l'apropiació que fa en les seves obres d'objectes d'ús domèstic o de poc valor econòmic i de dubtada qualitat artística, que són habitualment consumits per les masses, el “poble”. L'obra de Koons, de vegades, ha estat considerada com una crítica al capitalisme i al consumisme, però la seva personal visió de l'art com a mercaderia, la seva “fàbrica” de creació (amb uns 160 treballadors) i l'elevada cotització de les seves obres, també han fet pensar tot el contrari (Legge, 2016, pp. 134-143).

En la seva extensa producció es poden identificar un ampli ventall d'escultures realitzades en metall acolorat que poden recordar a l'alumini després d'un tractament d'anoditzat decoratiu, però la majoria d'elles han estat realitzades en acer inoxidable polit, fins a obtenir l'efecte mirall i posteriorment, pintades amb la superposició de diverses capes de laca, que doten l'obra de la sensació de transparència (Koons, s/d); dins d'aquest procediment podem nomenar, el famosíssim *Balloon Dog*, del qual se n'han produït cinc versions en diferents colors (blau, magenta, taronja, vermell i groc), realitzades entre el 1994 i el 2000 i altres “balloons”, que segons una entrevista realitzada a l'artista:

Distorsionan el reflejo del observador y se convierten en atractivas superficies. Pero aluden a [sic] algo que no es tan literal, que tiene que ver con la autoaceptación y con la necesidad de eliminar los prejuicios. Los niños están más abiertos a aceptar las cosas como son. Ejercitan una libertad que luego perdemos. El arte sirve para recuperarla, para traspasar límites. (Ulrich, 2015)

Una de les escultures que sí que ha estat realitzada en alumini fos és la sobredimensionada pila de plastilina *Play-Doh*, produïda durant l'interval de vint anys, entre 1994 i 2014 i de la qual se n'ha realitzat cinc versions diferents. Cada un dels fragments de “plastilina” (27 unitats), ha estat fos per separat i després dipositat un sobre l'altre per tal de donar la sensació d'haver estat arrancats i amassats i posteriorment, amuntegats. S'ha dotat a cada una d'aquestes porcions massisses d'alumini d'un color i gràcies al seu to, saturació i lluminositat, que s'associen, sense dificultat, amb el material d'inspiració. El sistema amb el qual s'ha aplicat el cromatisme ha estat l'utilitzat per una empresa de Connecticut especialitzada en pintar amb esprai, de forma decorativa, cotxes de carreres i vehicles antics (Vogel, 2014).

Segons l'artista, el motiu del prolongat parèntesi de temps que ha sigut necessari per a l'execució de la peça, ha estat la impossibilitat tècnica de crear una superfície esquerdada que fos fidel a les que s'originen en aquest material plàstic. En relació amb el material definitiu, l'alumini fos, Koons declarà: “but as I started putting more and more detail in the piece, I realized I needed to make it out of aluminum to get a more hyper-realistic surface”. (Koons, com es va citar en Vogel, 2014)

97 Acrònim que fa referència a “neo-geometric” (en cat. neo-geomètric).

En la producció de Koons podem trobar altres escultures realitzades en alumini com *Spli-Rocker*, del 1999, de la sèrie Easyfun o ja entrats a la primera dècada del s. XX, totes les escultures pertanyents a la sèrie Popeye, com és ara *Dogpool Ladder*, portada a terme entre el 2007 i el 2011; a totes aquestes peces se'ls hi ha aplicat pintura en diversos colors. Segons sembla, les úniques escultures que finalitza amb el metall “nu” són les de la sèrie Statuary, realitzades el 1986 i la peça *Kiepenkerl*, del 1987, que es materialitza en acer inoxidable.

Tot i que molta de l'obra de Koons podria haver estat realitzada en alumini i posteriorment haver estat dotada de color mitjançant el procés d'anoditzat i acolorat, poques són les escultures a les quals ha aplicat aquests procediments; cal afegir que el procés de lacat és molt més pràctic i més efectiu per a depèn de quins acabats. Només s'han localitzat unes obres en què Koons possiblement ha aplicat color a partir de l'anoditzat; aquestes són els 1.000 exemplars de *Cracked Egg*, elaborats el 2008 amb motiu de la inauguració del Broad Contemporary Art Museum (BCAM) de la Ciutat de Los Angeles. Aquestes reproduccions de dimensions reduïdes (10 x 6 x 6 cm) de la monumental *Cracked Egg (Red)*, realitzada entre 1994 i 2006, van ser la invitació a l'esdeveniment. Diem “possiblement” perquè hi ha fonts que especifiquen que foren esmaltats, per tant, no podem assegurar-ho⁹⁸.

98 La casa de subhastes d'art Sotheby's, en la fitxa tècnica especifica alumini esmaltat, mentre que la New Art Edition, galeria d'art en línia, apunta solament que és alumini anoditzat.

Rita McBride

McBride realitza el 2015 *Acces*, un fragment d'una obra més gran realitzada amb claus, panys i poms de porta que consta de vint-i-quatre claus, d'escala ampliada, d'alumini anoditzat i acolorit en verd, que han estat tallades amb plasma d'una planxa. Com en les obres anteriors tracta els elements ocults, en una butxaca en el cas de les claus, en al·lusió als protagonistes invisibles de la història. Aquesta és una altra de les poques peces tractades amb el sistema d'acolorit, mitjançant el previ anoditzat, que hem pogut localitzar, encara que tampoc és de fosa.

La planxa d'alumini resultant, d'on s'han extret les claus d'*Acces*, reflecteix l'absència d'aquestes i constitueix una altra obra, *Acces Template*, en aquest cas sense anoditzar i lògicament, realitzada el mateix any.

Yoshitomo Nara

Artista sorgit als 90, Yoshitomo Nara (n.1959) es troba vinculat al moviment d'art pop japonès. Realitza dibuixos, pintures i escultures d'animals que semblen sorgits dels dibuixos animats.

Les seves obres construïdes a mà es realitzen amb escuma de poliestirè i seguidament, són recobertes amb resina i fibra de vidre; aquest és el cas de *Your Dog*, del 2003, del Museum of Fine Arts de Boston.

Utilitza alumini en alguna de les seves escultures de grans dimensions, com la gegant *Your Dog*, del 2017, basada en el seu reconegut personatge The Lonesome Puppy, que fou presentada a la Biennal d'Art de

Bangkok del 2019. Aquesta escultura d'alumini està acabada, com en les obres de resina, amb la superfície pintada i lacada de blanc.

Miquel Navarro

Navarro, del que hem vist l'obra de les ciutats als 90, utilitza el color generalment de forma monocromàtica per recobrir algunes de les obres de metall; ho podem observar en les de caràcter públic a València, com la font coneguda com la *Pantera Rosa*, del 1984, i l'*Home Guaita*, del 1999, totes dues en tons vermells o, en el cas de *Parotet*, del 2003, amb tonalitats matts de color blau i en construcció d'acer.

En l'obra d'alumini predomina la coloració grisa, que atorga una naturalesa freda, conjugant-la amb el gris del plom i el de les construccions de zinc i de ferro fos. Navarro també ha realitzat un ventall força ample d'escultures en alumini amb color, un exemple són les obres de l'esmentat catàleg de la Galeria Fernández-Braso, de l'exposició de 2014, on presenta un seguit d'onze obres de naturalesa constructiva pintades monocromàticament en blau o fúcsia, matts, sobre el mateix tipus d'alumini, el marí. *Guerrer*, del 2008, i *Guerrer insecte*, del 2014, en alumini marí pintat de blau, són un exemple d'obra vertical amb referents formals, i d'escala, antropomorfes, mentre *Tombaet*, del 2008, i *Platet*, del 2013, en fúcsia, juguen en un format reduït.

Marc Quinn

Quinn desenvolupa una vessant pictòrica que resol amb la instal·lació de materials que adquireixen certa tridimensionalitat.

El *Thames River Water Atlas*, del 2017, és una edició de quatre grans làmines d'alumini nàutic, enrotllables, que Quinn anomena llibres. L'artista s'ha proposat reflectir una imatge abstracta de la natura, aplicant un procés de superposicions de procediments fotogràfics, pictòrics i de texturat.

Fotografié el amanecer y el mar, y empecé a pintar sobre ellos con espray: el tipo de pintura que asociamos con el entorno urbano. Después rocié con espray la basura que encontré en la playa para hacer impresiones sobre la pintura. Cuando terminé, llevé el lienzo por las calles de Londres y, usando una lijadora, cogí las impresiones texturizadas del suelo y de las tapas de las alcantarillas de metal que protegen la entrada de las tuberías que van al río y a través de las que fluye el agua. (Quinn, com es va citar en Cué, 2017, par. 5)

Després d'aquests processos acaba rebregant i maltractant amb el seu cos les làmines d'alumini (Ivorypress, 2017, par. 3). Quinn també ha realitzat en els darrers anys, del 2014 al 2015, *Toxic Sublimes*, una sèrie de grans làmines d'alumini tractades de forma similar a l'obra comentada anteriorment, que en l'exposició a la galeria White Cub de Londres del 2015, acompanya amb grans escultures en acer inoxidable de les que n'hem parlat anteriorment (Quinn, 2015, par. 2-4).

Ugo Rondinone

Artista suís de família italiana, Rondino (n.1963) va estudiar a la Hochschule für angewandte Kunst de Viena. El 1997 es va instal·lar definiti-

vament a Nova York i el 2007 va representar el seu país a la Biennal de Venècia.

Artista multidisciplinari, ha desenvolupat una intensa carrera internacional mitjançant l'escultura, la fotografia, el vídeo, la pintura, el dibuix i el so. Ha confeccionat un univers creatiu amb personalitat pròpia, capaç de combinar el "pop" extrem amb el minimal amb un vocabulari íntim, subversiu i melancòlic, per reflexionar sobre les tensions entre la realitat i la surrealitat, la poesia i la indústria, el naturalisme i l'artifici.

L'exposició "La noche de Plomo" que va realitzar el 2009 al Museo de Arte Contemporáneo de Castilla y León (MUSAC), va ser la primera gran exposició de l'artista a Espanya. Suggereix la idea d'una nit en blanc, un viatge introspectiu, un recorregut per un paisatge dens i oníric que s'articula a través de 5 capítols, un per cada sala del museu, que travessen la frontera entre somni i realitat mitjançant un joc de símbols i metàfores amb obres de disciplines diverses.

En el primer capítol, a l'inici del recorregut, està conformat per un grup escultòric en el qual es representen sis oliveres mil·lenàries, realitzades en alumini fos i pintades amb esmalt blanc, que rodegen una bomba-escultura de cera. Les 6 peces, còpies d'oliveres del sud d'Itàlia, escenifiquen un paisatge format per records acumulats, pel camí recorregut en la vida i reflexiona sobre el pas del temps i la natura⁹⁹.

99 El nom de cada una d'aquestes peces és: *Get up girl a sun running the world* i *Air gets into everything even nothing*, les dues del 2006; *Wisdom? peace? blank? all of this?*, del 2007; *A day like this.made of nothing and nothing else*, *Turn back time.lets start this day again* i *For what? for space and stars?*, les tres del 2009.

Al MUSAC en va exposar 6, però la sèrie d'oliveres està formada per dotze arbres i cadascuna representa la lluna plena de cada mes de l'any i planteja preguntes sobre els conceptes de temps i desplaçament i sobre la relació entre els entorns naturals i artificials, que transporten a l'espectador a una època més arcaica de rituals terrestres i adoració pagana a les estrelles.

Unes altres escultures d'aquest artista que ens criden l'atenció i que també van relacionades amb la temàtica de la lluna són les de la sèrie *Moonrise*; aquesta sèrie de caps o màscares, que en aparença recorden a algun dels personatges del director Tim Burton (concretament a Oogie Boogie, l'home del sac), està formada per 12 exemplars amb expressions diverses, en la majoria dels casos beneïtes i inquietants, que representen els 12 mesos de l'any. D'aquesta col·lecció, portades a terme en alumini fos i pintades d'un color que s'assimila al de l'argila blanca, en són una mostra *Moonrise East, March* i *Moonrise East, May*, les dues del 2005, i *Moonrise East, June*, del 2006.

Samuel Salcedo

El català Samuel Salcedo (n.1975), en les seves obres de caps esfèrics on el seu aspecte inflat o desinflat va acompanyat d'expressions facials d'angoixa, de dolor, de calma, de contenció o d'alliberament i en les seves "torres de guaita", on llargs colls eleven caps que lidien amb l'aire pulmonar, la figuració hi és present, però l'alumini també. Salcedo emprava resines, ferro, fusta, bronze i alumini per a transformar els seus modelats en obres definitives.

Traum, del 2011, *Bin Bag*, del 2012, *Animal Thrills II*, del 2015 o *Watchtower*, del 2015, són escultures foses en alumini, que l'artista tendeix a enfosquir (Figures 1.1.1); movent-se entre les superfícies polides i després envellides, amb les quals aconsegueix diverses tonalitats griseses, mat o setinades, que deixen entreveure el color platejat de l'alumini i el recobriment integral, que es podria identificar com una "pàtina falsa" que cobreix les peces de gris obscur o negre, obtenint la desaparició visual del metall (Salcedo, 2015; 3 Punts Galeria, s/d).

Kiki Smith

En l'obra de Kiki Smith en alumini, el color gris natural d'aquest metall és el més freqüent com s'ha comentat en l'apartat que li correspon; malgrat tot cal posar de relleu l'obra de bronze, alumini i llana, *Nuit*, del 1993, ja comentada. Les estrelles del cel nocturn, són realitzades amb alumini anoditzat i acolorades de blau (Fremont, 2014, p. 12).

Manolo Valdés

Manolo Valdés aplica color en un bon nombre d'escultures de la seva producció, entre les quals s'inclouen les d'alumini a les quals aplica tractaments que matisen la coloració grisa d'aquest metall o fins i tot, l'oculten totalment sota la pintura.

La "sèrie papallones d'alumini" té nombroses versions de mides diferents i també en materials diferents com *La Mariposa*, desenvolupada entre el 2015 i el 2016, amb una sola papallona de capell, en alumini pintat amb una tonalitat groguenca transparent; encara que, segons la llum que hi

incideix, fa la sensació que els tons són verdosos o blavencs. En *Ariela*, del 2011, també tracta l'alumini de forma similar modificant la seva tonalitat grisa amb pintura.

Una obra que destaca per la seva rotunditat en el recobriment de l'alumini que la conforma és *Clio White*, del 2020, ubicada a París i, tal com descriu el nom, pintada completament de blanc.

1.2.5 _Llistat d'autors i obres. Observacions i comentaris

La necessitat de tenir una visió final de conjunt ens ha induït a revisar els llistats d'artistes i obres localitzades en cada període. Aquesta revisió ens permet oferir resultats quantitatius, que s'han d'entendre des de l'òptica de l'escandall prospectiu, és a dir, des de la relativitat dels resultats que serveixen simplement com una referència per orientar-nos en el marc general de l'escultura en alumini.

Som conscients que el conjunt d'obres recollides en el text no es correspon amb la totalitat d'obres realitzades en aquest metall, ni reflecteix totes les obres d'alumini realitzades pels artistes esmentats, ni molt menys s'han recollit tots els artistes que han executat obra amb alumini¹⁰⁰; tampoc ha estat aquesta la pretensió. En tot cas, es pot considerar una mostra relativament representativa que ofereix una visió parcial del conjunt, fins i tot esbiaixada, però funcional per al propòsit.

Aquest recull ens pot orientar a l'hora de situar-nos en el context de l'escultura amb alumini, concretament per veure com l'escultura fosa ha anat evolucionant i recorrent a l'aplicació de color i en particular, ens serveix per veure si l'aplicació de l'anoditzat i l'acolorat de l'alumini de fosa ha tingut una incidència significativa dins d'aquest marc. Aquest és el propòsit,

100 La consulta del llistat d'escultors que apareixen en els dos catàlegs de les exposicions realitzades sobre artistes que han utilitzat l'alumini en les seves obres, ens referim en concret a les dues exposicions: "ARTLUMINIUM" a Montreal, Canadà, de 1989, i "ALLUMINIO. Tra Futurismo e Contemporaneità, un percorso nella scultura italiana sul filo della materia" portada a terme a Montevarchi, Itàlia, el 2013, ja ens permet evidenciar aquesta realitat.

malgrat que el recorregut, donada la manca d'estudis al respecte, ens hagi dut per uns indrets més amplis de l'escultura.

1.2.5.1_Observacions sobre el període que va de mitjans del s. XIX a mitjans del s. XX

Observacions

D'aquest període s'esmenten 31 obres de 25 autors, incloent-hi un gravador i una foneria:

Jean Arp; Hans Bellmer, Alexander Calder, Fortunato Depero, William Frishmuth, John Bernard Flannagan, Naum Gabo, Alfred Gilbert, Thomas Theodor Heine, Carl Paul Jennewein, Robert Laurent, Gwen Lux, Pierre Alexandre Morlon (gravador), Jorge Oteiza, José de Rivera, Pasquale Rizzoli, Henry Saint-Claire Deville, David Smith, John Bradley Storrs, Vladimir Tatlin, Thayaht, Ralph Thomas Walker, Wheeler Williams, William Zorach, a més a més de la Foneria Paul Morin et Cie de Nanterre.

Fosa

A banda de les primeres aplicacions, on l'alumini assumeix el valor de metall preciós, el primer que cal destacar en aquest període de gairebé un segle, entre mitjans del s. XIX i mitjans del s. XX, és l'escassa incidència de l'aplicació de l'alumini en l'escultura en relació amb l'aplicació d'altres metalls. Si ens centrem en la fosa, la desproporció a favor de la de bronze és considerable, i fins i tot la fosa d'acer li resta rellevància a l'alumini.

Sobre les raons que determinen l'aplicació inicial de l'alumini, molt minoritària, no n'hem pogut localitzar informació concreta. La bibliografia dedicada a l'escultura d'aquest període, almenys en la consultada, aporta informació al respecte precisament per l'absència d'aquesta, la menció textual o la inserció gràfica d'obres resoltes amb aquest metall és inexistent o molt excepcional.

Malgrat tot, s'intueix que per una banda, l'alumini en el territori de la fosa, ha de competir amb el bronze i, amb menor mesura, també amb l'acer i per una altra, les aportacions de les avantguardes, aparegudes en aquest context de canvi social i polític, van adreçar els artistes en altres direccions. Aquests van cercar alternatives investigant processos innovadors de caràcter constructiu o de recontextualització de l'objecte, gens coincidents amb la fosa de l'alumini.

Construcció

Quan considerem el conjunt d'obres resoltes constructivament pels artistes d'avantguarda, l'alumini és gairebé insignificant; en tot el període hem destacat la participació parcial d'aquest metall en una obra de Tatlin, una de Gabo, algunes de Càlder i una de Rivera, a banda de les ales que rematen el Times Square Building de Rochester a Nova York, projectades per l'arquitecte Ralph T. Walker. L'activitat constructiva amb aquest metall és fins i tot insignificant en relació amb la fosa d'alumini.

Color

Respecte al color, la tradició del bronze pesa sobre els treballs d'alumini

fos i en les primeres obres, s'intenta matissar o eliminar l'aspecte gris metal·litzat propi del metall embellint l'obra.

S'han trobat referències on s'indica que aquest es va utilitzar per reduir el pes de l'obra, fins i tot en parts de projecte, tractant el metall o recobrint-lo electrolíticament amb intenció d'unificar el conjunt amb la coloració del bronze. En períodes posteriors, ja a partir del 1915, es van mostrar algunes poques obres amb la coloració grisa mate o grisa metal·litzada i fins i tot brillant de l'alumini.

Pel que fa al recobriment del metall amb color sols hem esmentat l'obra en planxa *Black Yellow Red* de José de Rivera, els primers estudis de Mòbils de Calder i *The Doll* de Bellmer, de la que sembla que es va realitzar la fosa, per tant, també el color, en un període molt més tardà, cap al 1965. De totes maneres, en aquest apartat hem considerat convenient referir en el text l'aplicació de color pintat sobre una obra de bronze, *El got d'absenta* de 1914, de Picasso, pel que representa en l'aspecte rupturista de la tradició del patinat del bronze fos i per com aquesta actitud repercutirà especialment en l'acolorat de l'alumini en dècades posteriors.

1.2.5.2_Observacions sobre el període de les generacions de postguerra

Observacions sobre els cinquanta i els seixanta

En el període dels anys 50 i 60 s'esmenten, sumant les dues dècades, 44 obres de 23 artistes; alguns d'ells apareixen en els llistats de les dues dècades:

Andreu Alfaro, Carl Andre, Jean Arp, Ralph Brown, Antony Caro, Jacob Epstein, Stephen Gilbert, Bruno Gironcoli, Barbara Hepworth, Jasper Johns, Donal Judd, Ellsworth Kelly, Sol LeWitt, Marisa Merz, Bruno Munari, Reuben Nakian, Jorge Oteiza, Eduaardo Luigi Paolozzi, Kenneth Snelson, Josep Maria Subirachs, Andy Warhol, Nane Zavagno i Victor Vasarely.

El primer que cal destacar és que als 50 el llistat d'artistes és força limitat, i no ens atrevim a aventurar factors causals, a banda de la possible incidència de la postguerra.

Fosa

Si en l'etapa anterior de principis de segle predomina, dins de l'obra realitzada en aquest metall, l'activitat en fosa d'alumini, podem observar com en la dècada dels 50 la influència de les primeres avantguardes ha generat un petit increment en l'activitat constructiva. La fosa en alumini és present en aquesta llista amb activitats orientades a la implementació d'arquitectures renovadores, dissenyades per al culte religiós, com en el cas d'Oteiza i Epstein.

Als 60 es manté la inèrcia de la fosa, amb escultors de les generacions de principis de segle com Barbara Hepworth o Raph Brown i Oteiza; aquests fan servir l'alumini fos sense acolorar. El cas de Subirachs és semblant respecte a la utilització de processos tradicionals, és més, fins i tot ennegreix l'alumini. Paolozzi representa un trencament en la mesura que utilitza el recurs del reciclatge de deixalles de fosa d'alumini, aplica tècniques constructives i pinta les obres; és el primer cas en el qual es conjuga al mateix temps el color, la fosa i la construcció.

Construcció

En les respectives dècades, l'activitat constructiva amb alumini supera la de fosa. Els moviments sorgits als 60, les segones avantguardes, incorporen aquest material allunyant-se dels sistemes de producció tradicionals de l'escultura.

Color

Als 50 el color pintat apareix en les obres vinculades a corrents o artistes on manté, en les seves trajectòries, un protagonisme especial; n'és un exemple Ellsworth Kelly, encara en el període de transició entre l'abstracció geomètrica americana i el minimal i, per una altra banda, l'art cinètic, representat per Vasarely i altres autors. En el conjunt de les obres citades als 60, quan l'escultura construïda amb alumini va acompanyada de color, aquest hi assoleix tot el protagonisme.

No hi ha fosa amb color, en aquest sentit, als 60. Sorprenen les obres de fosa d'Andy Warhol per l'absència de coloració, essent com és un dels artistes paradigmàtics de l'art pop. En quant als minimal, l'estratègia de fer servir seccions industrials sense acolorar, com és el cas de Carl Andre o Donald Judd o acolorides, com en Sol LeWitt i també Judd, els distancia de la tradició de la fosa.

Cal destacar en aquest context de la tesi, la rellevant aportació d'Ellsworth Kelly, que incorpora en la seva obra duta a terme en planxa de 1957, *Sculpture for a Large Wall*, l'anoditzat i acolorat; és la primera referència sobre aquest sistema recollida al respecte. També cal posar en relleu a

Donald Judd que, a partir del 1969, utilitza seccions industrials d'alumini anoditzat i acolorit, possiblement amb els procediments proposats per aquesta recerca. Aquests dos artistes són els primers sobre els quals hem aconseguit informació en relació amb aquest sistema d'integrar color a l'escultura.

1.2.5.3_Observacions sobre el període de finals del s. XX

En aquest període, format per les tres dècades de finals del s. XX, s'ementen al voltant de 112 obres de 43 artistes. Alguns d'ells reapareixent en els llistats de les diferents dècades:

Magdalena Abakanowicz, Andreu Alfaro, Siah Armajani, Joseph Beuys, Alfio Castelli, Carlo Borer, Jonathan Borofsky, Louise Bourgeois, Luciano Fabro, Jochen Gertz i Esther Shalev, Bruno Gironcoli, Hans Ruedi Giger, Jürgen Goertz, Agustin de la Herrán, John Seward Johnson, Donald Judd, Anish Kapoor, Alain Kirili, Jeff Koons, David LaPlantz, Sol LeWitt, Roy Lichtenstein, Javier. Mariscal, Miquel. Navarro, C. Oldenburg i Coosje van Bruggen, Jorge Oteiza, Panamarenko, Eduardo Paolozzi, Jaume Plensa, Arnalado Pomodoro, George Warren Rickey, Antoni Roselló, Joaquim Ros-Sabaté, Pete Sans, Karl Schantz, Thomas Schütte, Kiki Smith, Jesus R. de Soto, George Sugarman, Josep M. Subirachs, Antoni Tapies i Valeriano Trubbiani.

Relació amb altres metalls de fosa

Aquestes tres dècades presenten una dinàmica de continuïtat i, com en

períodes anteriors, l'alumini manté una presència secundària en relació amb la resta de metalls emprats en l'escultura, acer en la construcció o bronze en la fosa, almenys entre una part dels artistes esmentats. Per posar un exemple, als 80 en l'escultura de caràcter constructiu la prevalença de l'acer resta possibilitats a l'alumini. Es veu clarament en el conjunt de l'obra de Rickey, Armajani o Kirili, entre molts altres.

Als 70 trobem escultors que van desenvolupar una gran part de la seva producció en alumini fos, convertint-se en quelcom emblemàtic de les seves obres; és el cas de Gironcoli i Trubiani i altres escultors vinculats als processos tradicionals com Subirachs, que també el van aplicar puntualment. Aquests escultors van mantenir el material en el seu estat natural sense aplicar color addicional, aprofitant, per tant, les qualitats de l'alumini (el seu aspecte brillant, metal·litzat i gris) com una part rellevant en la seva obra. Alfio Castelli que va recórrer al procediment de fosa d'alumini, de vegades va fer servir el recurs d'imitar el bronze amb tractaments superficials.

L'alumini fos va participar de forma excepcional en els corrents artístics del moment; en el cas de l'art povera, es pot veure puntualment a Luciano Fabro amb fosa d'alumini, sense tractament de color. El cas de la *Batcolum* d'Oldenburg i van Bruggen, on s'utilitzà per a la part del mànec l'alumini fos, és una excepció en el conjunt de la seva trajectòria.

Als 80, de vegades l'alumini fos es mostra esporàdicament, com en el cas de *Stag*, l'única peça de Beuys de la qual en tenim referència, on apareix, emprant-lo exclusivament pel seu aspecte metal·litzat lluminós; o en altres escultors com Pomodoro o Abakanowicz que l'apliquen també en conta-

des ocasions, en proporció molt menor en relació amb el gruix d'obra fosa en bronze o resolta amb altres materials. Malgrat tot, ens trobem amb alguns casos de fosa d'alumini continuada entre els artistes consolidats en generacions anteriors, com Gironcoli o Goertz o de nous com Seward Johnson. En tots els casos es manté l'aspecte metal·litzat o gris de l'alumini fos, exceptuant parts d'algunes de les obres de Goertz.

Als 90 sorprèn en el conjunt, una major presència d'escultura en fosa d'alumini. Trobem diferents casos: artistes que malgrat haver fos amb metalls diversos utilitzen l'alumini fos de forma puntual, com per exemple Plensa, Kapoor o Koons; altres, com Schutte o Borer que desenvolupen sèries completes amb aquest metall fos i un tercer grup que el fa servir de forma continuada com Giger, Bourgeois i Gironcoli, alternant-lo amb altres materials. L'obra de fosa, *La Piedad* a Donostia, d'Oteiza, essent excepcional en la seva trajectòria ja conclusa, segueix la línia de la seva producció de tipus religiós dels 50 i dels 60, fosa en alumini.

Construcció

Als 70, les activitats pròpiament constructives amb alumini van seguir a bon ritme: Andreu Alfaro va ser un dels escultors de referència en l'ús sistemàtic de seccions tubulars d'alumini metal·litzat brillant; Panamarenko emprà l'alumini ocasionalment, però també sense tractament i Paolozzi també sorprèn en el llistat d'aquesta dècada, per la mateixa raó que Warhol en l'anterior, en mantenir el color natural de l'alumini en les seves obres *Yantra* i *Kalasan*. Pel que fa als corrents artístics dels 70, l'activitat constructiva amb alumini no queda reflectida, exceptuant el cas de Marisa Merz, de l'art povera, que es serveix de seccions industrials rebregades.

Als 80, l'activitat constructiva és predominant i destaca la participació del color. Kirili barreja procediments, fent treballs de forja sobre els extrems dels blocs d'alumini, prèviament fosos o extrusionats, que després instal·la verticalment sobre altres blocs més gruixuts; aquesta, la forja, és una pràctica escultòrica coneguda d'aquest artista, així com profusament practicada en blocs d'acer, però inèdita en el conjunt d'obres esmentades d'alumini.

Als 90, pel que fa a l'escultura construïda amb seccions industrials d'alumini, el llistat dels localitzats es redueix. Ens trobem amb artistes que mantenen la seva trajectòria com Sol LeWitt i Armajani i a mig camí entre el disseny i l'escultura Carlo Borer i Antoni Roselló, que apliquen sistemes constructius. Borofsky, en l'obra del retrobament, *Molecule Man*, fa servir grans plaques força gruixudes d'alumini, el que suposa una novetat entre les obres de caràcter constructiu d'aquest tipus. El mateix passa amb la manera de construir amb tubs entortolligats d'alumini anoditzat de Tàpies, pràctica que ha estat observada en obres d'acer d'altres autors. La lleugeresa de l'alumini sembla ser una motivació.

Alumini i color

Als 70 el tractament de l'alumini amb color es força minoritari. Pel que fa a la producció de fosa, Alfio Castelli aplica en dues obres una falsa pàtina per a transformar l'aspecte propi de l'alumini; al seu torn, Oldenburg i van Bruggen tracten d'unificar l'acabat de la *Batcolum*, esmaltant tant l'estructura d'acer com la base d'alumini. En el vessant constructiu hi ha artistes rellevants i persistents en la pràctica del color, dues aportacions de Suggarman i una de Sol LeWitt, totes tres en la línia de treball dels respectius

autors, exemplifiquen el panorama.

Als 80, en l'àmbit del color sobre l'alumini, els artistes que procedeixen o tenen vincles amb l'art pop marquen la pauta; en especial destaquen el matrimoni Oldenburg-van Bruggen amb nombroses obres de caràcter públic. Roy Lichtenstein enceta una trajectòria semblant a la de la parella esmentada amb obres construïdes en gran format, amb alumini i pintades amb colors vius; activitat que prorroguen, després de la seva mort, els seus hereus. En aquest sentit també crida l'atenció l'acolorida obra de Karel Appel, de caràcter constructiu i pintada amb colors vius. Pel que fa la fosa, Goertz integra en la mateixa obra l'aspecte metàl·lic de l'alumini aplicant pintura en determinades zones, de vegades per aportar color i altres per donar un aspecte d'embelliment de l'alumini proper al del bronze.

El catàleg "ARTLUMINIUM" ens permet fer una lectura més ampla del color en l'alumini dels 80, en observar un grup d'artistes amb obres acotades en aquesta dècada per criteris expositius; ens remetem a l'apartat últim de la dècada dels 80, *1.2.3.2.3_ "Artluminium" i el color*, on es pot apreciar com dels 51 artistes que participen a l'exposició, 19 apliquen color i la resta manté el propi de l'alumini. La tendència a aplicar color sobre l'alumini sembla tenir un cert nivell d'expansió en aquesta dècada, si més no entre els artistes que estem tractant.

Als 90, el tractament de l'alumini en el seu aspecte natural predomina entre les obres esmentades, els artistes juguen amb els diferents tipus d'acabats, des del gris, passant pel gris polit o el metal·litzat, fins al polit mirall. L'obra *Ola* d'Oteiza es destaca sobre el fons arquitectònic amb l'austeritat de la pintura negra. El color participa en menys escultures, de

vegades seguint trajectòries encetades en dècades anteriors, com les de Judd, Lichenstein, de Soto o Armajani.

Pel que fa a l'anoditzat i l'acolorat cal destacar l'obra de David LaPlanz, del que n'esmentem una escultura, amb data desconeguda i diverses broquetes, malgrat que la seva producció és molt més ampla; a banda d'aquestes aportacions, aquest escultor és rellevant en aquesta tesi per tenir una publicació sobre el procediment d'anoditzat i acolorat per impregnació i haver propugnat la seva aplicació durant tota la seva trajectòria docent en l'àmbit de l'escultura i la joieria.

De totes maneres, exceptuant a LaPlanz, a Judd, que segueix utilitzant alumini anoditzat i acolorat, i uns estels d'una de les obres de Kiki Smith, possiblement també anoditzades i acolorades, de cap dels altres casos esmentats d'aquestes tres dècades tenim informació que ens indiqui l'aplicació de color amb el sistema d'anoditzat i acolorat.

1.2.5.4_Observacions sobre el període de les dècades del s. XXI

En aquest període, que engloba les dues dècades del s. XXI, s'esmenten al voltant de 146 obres de 46 artistes, alguns dels quals reapareixen dels llistats anteriors:

AVL, Atelier van Lieshout, Magdalena Abakanowicz, Siah Armajani, Kader Attia, Louise Bourgeois, Barbara Brown, Santiago Calatrava, Diego Canogar, Douglas Coupland, Tony Cragg, John Chamberlain, Wim Delvoye, Marcus Egli, Elmgreen & Dragset, Urs Fischer, Gregor Gaida, Isa Gen-

zken, Hans Ruedi Giger, Bruno Gironcoli, Jürgen Goertz, Paolo Grasino, Zaha Hadid, Jasper Johns, John Seward Johnson, Anish Kapoor, Idris Khan, Jeff Koons, Rita McBride, Seung Mo Park, Yoshitomo Nara, Lorenzo Quinn, Marc Quinn, Ugo Rondinone, Karin Sander, Samuel Salcedo, Thomas Schütte, Soledad Sevilla, Kiki Smith, Sacha Sosno, Manolo Valdés, Hanna Vihriälä, Huang Yong Ping, Toby Ziegler i Andrea Zittel.

Relació amb altres metalls de fosa

Aquestes dues dècades presenten una dinàmica de continuïtat amb els 90. Com en períodes anteriors, l'alumini manté una presència limitada en relació amb la resta de metalls emprats en l'escultura, acer en la construcció o bronze en la fosa, almenys entre una part dels artistes esmentats (ho podem veure en l'obra de Kapoor, Koons, Valdés, Abakanowicz, Bourgeois, etc.), però es percep un fet diferencial, l'augment de l'activitat en treballs d'alumini.

Fosa

El primer que cal destacar és la major presència d'escultura en fosa d'alumini, doblant gairebé la de construcció. Entre alguns d'aquests escultors que l'utilitzen de fosa amb una trajectòria perllongada (els hem vist en les dècades anteriors), trobem Louise Bourgeois i Magdalena Abakanowicz. També en localitzem d'altres que treballen alternant l'alumini amb altres materials de forma continuada com H. R. Giger, Seward Johnson, Lorenzo Quinn, Samuel Salcedo, Hanna Vihriälä, Jürgen Goertz i Bruno Gironcoli; aquests dos últims amb una continuïtat de diverses dècades en el treball en alumini.

Entre els que apareixen per primera vegada en aquest període, però empren l'alumini amb freqüència, trobem a Manolo Valdés, que també pertany al grup dels veterans, essent a partir del 2000 on s'aprecia un ús extens de la fosa d'alumini en la seva obra de galeria i monumental; en aquest sentit també destacarem a Huang Yong Ping i altres de més joves com Diego Canogar, Gregor Gaida, Paolo Grasino, Marc Quinn, Toby Ziegler o Idris Khan. Aquest darrer fa servir la fosa com un recurs per deixar un registre textual sobre la superfície de les peces amb les quals elabora obres de naturalesa constructiva i fins i tot, arquitectònica.

Altres autors esmentats en apartats anteriors continuen el treball en determinades sèries com Thomas Schütte o donen forma a un conjunt diferenciat de la seva obra precedent precisament en l'ús de l'alumini, com en el cas de Kiki Smith.

Entre els casos peculiars destaquen, pel treball especialitzat en fosa d'alumini, Marcus Egli i també Urs Fischer i Karin Sander. El primer amb el seu rinoceront (*Things*) i la segona amb el monument a Joseph Graf Montgelas i tots dos per l'ús del fresat sobre un gran bloc d'alumini, suposem que prèviament fos, realitzant d'aquesta forma una aportació diferenciada, a més a més de recolzada amb tecnologia 3D.

En aquest cas, com en els 90, localitzem diferents casos d'artistes que utilitzen l'alumini fos de forma puntual. En són un exemple l'Atelier van Lieshout o Soledad Sevilla.

Construcció

Pel que fa a l'escultura construïda amb seccions industrials d'alumini, el llistat dels localitzats es redueix en relació amb els de fosa. De totes maneres cal destacar l'abundància de casos particulars en les diferents maneres de tractar les seccions industrials.

L'aportació més diferenciada d'aquest conjunt, des del punt de vista dimensional, ens l'ofereixen els arquitectes que han pres com a referència l'escultura i que hem agrupat en l'apartat *1.2.4.1_ArquiEscultura amb alumini*, entre els quals trobem Santiago Calatrava, Zaha Hadid i Sacha Sosno, amb la pràctica comuna d'emprar plaques d'alumini gris que actuen d'embolcall de l'edifici, lleuger i significatiu a la vegada.

Continuant amb les pràctiques excepcionals ens trobem amb artistes com Anish Kapoor que habitualment resol les formes orgàniques monumentals amb planxes d'acer invisiblement soldades o amb fosa de bronze o d'alumini, però en aquest cas, a *Mountain*, fa servir l'apilament de planxes gruixudes retallades per oferir un volum resolt amb cotes orogràfiques; Win Delvoye, que treballa sobre la carrosseria d'alumini de vehicles esportius emblemàtics realitzant gravats orientals, ornamentació que també realitza retallant planxes d'acer que utilitza per a construir obres impactants; Seung Mo Park, que es distingeix per aplicar a models figuratius un sistema constructiu gens habitual, resolt amb fil d'alumini. El paper d'alumini també és un format recurrent; usat en l'obra de Kader Attia i en l'elaboració dels models de les darreres escultures de John Chamberlain, de les quals a hores d'ara, no hem pogut confirmar si han estat executades en fosa.

Alumini i color

En les dues dècades del s. XXI, el tractament de l'alumini en el seu aspecte natural predomina en gairebé el doble de casos llistats, tant en les obres de fosa com en les de construcció.

El color participa en aproximadament un terç de les escultures esmentades, i ho fa de diverses maneres. En una primera modalitat de recobriment de la totalitat de la superfície, amb que s'oculta totalment l'aspecte de l'alumini, trobem les escultures de Chicago i les exposades a Nova York de Santiago Calatrava; l'*Orca* de Douglas Coupland; alguna de les obres d'Elmgreen & Dragset; també les d'Ugo Rondinone i l'obra *Clio White* de París de Manolo Valdés. En aquesta línia, però imitant altres materials de producció industrial, en concret objectes comercials de plàstic, destaquen Jeff Koons i Yoshitomo Nara, mentre que Urs Fischer aplica color al seu rinoceront carregat d'objectes quotidians per aconseguir una unitat metal·litzada al conjunt. Entre les obres pintades localment trobem la *Rose II* d'Isa Genzken.

En una posició intermèdia, entre pintat i envellit, se situen algunes de les obres de Grassino on enfosqueix l'alumini i els caps de Samuel Salcedo, envellits i polits. Continuant entre la producció on es deixa entreveure el metall, tenim el cas de Tony Cragg que aplica pintura sobre l'alumini per a després, amb el polit de les diverses capes, deixar que el metall es torni a manifestar en certes zones. Jugant amb les veladures o amb una certa transparència, esmentem obres com *Ariela* i la *Mariposa* de Manolo Valdés, la *Wave* de Kapoor o les enormes làmines rebregades en *Thames River Water Atlas* de Marc Quin.

Pel que fa a l'aplicació de color sobre alumini anoditzat tenim tres autors: Karl Schantz, del que ja n'havíem vist precedents a finals dels 80; les escultures obtingudes per volums de rotació sobre un eix vertical de Barbara Brown i possiblement la sèrie de *Cracked Egg* de Jeff Koons. De les diverses obres esmentades amb alumini anoditzat i acolorat desconexem si s'han realitzat amb el sistema d'impregnació propugnat en aquesta recerca.

1.2.5.5_Observacions finals

Per a realitzar aquest estudi s'han tractat un total 333 obres, algunes de les quals són sèries que pertanyen al mateix escultor; dels 115 autors, en tres casos formen equips de 2 persones i els restants 109, són autors individuals entre els quals s'ha inclòs una foneria i un gravador:

Magdalena Abakanowicz, Andreu Alfaro, Siah Armajani, Carl Andre, Jean Arp, Atelier van Lieshout (AVL), Kader Attia, Joseph Beuys, Hans Bellmer, Alfio Castelli, Carlo Borer, Jonathan Borofsky, Louise Bourgeois, John Bradley Storrs, Barbara Brown, Ralph Brown, A. Calder, Antony Caro, Santiago Calatrava, Fortunato Depero, Diego Canogar, Douglas Coupland, Tony Cragg, John Chamberlain, Wim Delvoye, Marcus Egli, Jacob Epstein, Elmgreen & Dragset, Luciano Fabro, William Frishmuth, Urs Fischer, John B. Flannagan, Fonderie Paul Morin et Cie, Gregor Gaida, Isa Genzken, Jochen Gertz i Esther Shalev, Hans Ruedi Giger, Alfred Gilbert, Stephen Gilbert, Bruno Gironcoli, Jürgen Goertz, Paolo Grassino, Agustin de la Herrán, Gwen Lux, David LaPlantz, Zaha Hadid, Barbara Hepworth, ThomasTheodor Heine, Jasper Johns, Jen Carl Paul Jennewein, John Seward Johnson, Donald Judd, Anish Kapoor, Idris Khan, Alain Kirili, Anish Kapoor, Ellsworth

th Kelly, Jeff Koons, Robert Laurent, Sol LeWitt, Roy Lichtenstein, Jaier Mariscal, Rita McBride, Seung Mo Park, Marisa Merz, Pierre Alexander Morlon, Bruno Munari, Reuben Nakian, Yoshitomo Nara, Miquel Navarro, Claes Oldenburg i Coosje van Bruggen, Jorge Oteiza, Panamarenko, Eduardo Paolozzi, Jaume Plensa, Arnaldo Pomodoro, Lorenzo Quinn, George Warren Rickey, José de Rivera, Pasquale Rizzoli, Ugo Rondinone, Antoni Roselló, Joaquim Ros-Sabaté, Henri Étienne Saint-Claire Deville, Samuel Salcedo, Pete Sans, Karin Sander, Karl Schantz, Thomas Schütte, Soledad Sevilla, David Smith, Kiki Smith, Keneh Snelson, Sacha Sosno, Jesus Rafael de Soto, Josep Maria Subirachs, George Sugarman, Antoni Tapies, Vladimir Tatlin, Thayaht, Valeriano Trubbiani, Manolo Valdés, Victor Vasarely, Hannah Vihriälä, Ralph T. Walker, Andy Warhol, Wheeler Williams, Huang Yong Ping, Nano Zavagno, Toby Ziegler, Andrea Zittel i William Zorach.

L'evolució de l'escultura amb alumini ha seguit una trajectòria d'aplicació creixent que s'evidencia a través de les etapes en què hem estructurat aquest treball.

La **primera etapa** inclou gairebé un segle i va des de les aplicacions inicials en l'escultura d'aquest metall, cap a mitjans del s. XIX, fins a mitjans del s. XX. En aquesta destaca com s'assumeix prou ràpidament, des de les vessants de les arts decoratives i de l'arquitectura, la influència predominant de la tradició monumental en bronze i com deixen de banda aquest metall els artistes de les primeres avantguardes, amb excepcions, ja que alguns d'aquests artistes van començar a fer-lo servir en aquest període i amb posterioritat.

La **segona etapa** engloba les dues dècades de després de la Segona

Guerra Mundial i es caracteritza per l'aparició de les segones avantguardes. En els anys 50 la incidència de l'alumini reflectida es força limitada, 6 autors i 6 obres, mentre que als 60 el nombre d'artistes que treballen amb aquest metall, en fosa i en construcció, augmenta considerablement triplicant-se el nombre, 19 autors i 38 obres.

L'activitat constructiva supera en totes dues dècades la de fosa. El color agafa protagonisme especialment entre les activitats constructives i és en aquest moment quan Donald Judd fa servir planxes industrials d'alumini anoditzat i acolorit. Tot i que Ellsworth Kelly és el primer precedent localitzat en relació amb la recerca de la tesi, Judd presenta una trajectòria més prolongada que abastarà dècades posteriors.

La **tercera etapa**, els últims anys del s. XX, recull les dècades de la post-modernitat, en les quals s'evidencia un canvi substancial d'actitud, força eclèctica, entre els artistes. La recuperació dels processos tradicionals es posa de manifest en l'augment progressiu dels casos de fosa d'alumini, sense menystenir els de construcció. En els 70 i els 80 es mostra cert equilibri entre unes i altres pràctiques, però als 90 les obres de fosa ja marquen una tendència evident. El nombre d'obres i artistes va anar augmentant a mesura que transcorria el segle. El nombre d'autors corresponent a les tres dècades és progressiu: 14, 18 i 24 i el nombre d'obres esmentades també, 27, 31 i 53; essent un total de 111 obres per al conjunt del període. De 44 obres per dues dècades (la del 50 i el 60), amb una mitjana de 22, hem passat a 111 en tres dècades, amb una mitjana de quasi 34. La progressió és substancial.

En l'alumini de fosa els artistes prefereixen deixar la coloració pròpia de

l'alumini: als 70, de 16 peces de fosa, 7 tenen color; als 80, de 16, en tenim 4, i als 90, de 29, també 4. Aquestes dades reflecteixen un procés decreixent, en aquestes tres dècades, en l'aplicació de color als aluminis de fosa.

En l'alumini de construcció: als 70, de 27 peces, 14 són amb color; als 80, de 20, en tenim 16 i als 90, de 23, en contem 17. A banda d'indicar que l'activitat constructiva incorpora més color, les tres dècades presenten variacions poc rellevants com per treure conclusions.

Pel que fa a l'anoditzat i acolorit, als 70 no advertim cap obra (0); als 80, en trobem 7, corresponents a Judd, LaPantz i Schantz i als 90 n'hem localitzat 10. En aquesta darrera dècada, la presència del promotor d'aquesta tècnica en joieria, David LaPlantz, és primordial.

I la **quarta etapa**, que engloba les dues dècades del s. XXI, l'hem considerat com l'etapa expansiva en l'escultura d'alumini. Passem de 111 obres, en les tres dècades anteriors del s. XX (amb una mitjana de 37 obres per dècada), a 146 en dues dècades (amb una mitjana de 73 obres per dècada al s. XXI). Per tant, de 37 a 73, pràcticament es dobla la mitjana d'obres en el període més recent. En autors s'observa també la progressió: d'una mitjana de 12 autors per dècada passem a una de 22. Com es pot apreciar, el creixement és considerable.

Pel que fa a la relació entre l'escultura fosa i l'escultura realitzada amb material industrial preelaborat que hem agrupat sota el terme "construcció", s'han referenciat 118 obres de fosa, enfront a 34 de construcció; unes poques, 6, són comunes als dos grups perquè utilitzen els dos sistemes,

fosa i construcció. Malgrat els dubtes raonables i els possibles errors en l'apreciació respecte al procediment emprat, s'observa una tendència notable a favor de la fosa en aquestes darreres dues dècades.

Respecte al color, quantifiquem que 51 obres han rebut un tipus de tractament de color o altre, de les quals, 44 obres, són de fosa i 12 de construcció. Observem que el nombre de foses acolorides és major i proporcional a l'evolució dels dos sistemes de fabricació.

Pel que fa a l'anoditzat i acolorit s'han localitzat cinc peces, (4 de fosa, en 2 de les quals tenim dubtes) i 1 de construcció.

1.2.5.6_Conclusions

Per concloure, mantenim la percepció que, entre els artistes tractats, l'alumini manté una presència limitada en relació amb la resta de metalls més rellevants en l'escultura, com són l'acer en la construcció o el bronze i l'acer inoxidable en la fosa. Malgrat que aquesta percepció no ha estat contrastada amb aquest treball, en el decurs del mateix hem pogut observar la dedicació dels diferents artistes en els respectius materials.

Per altra banda, la progressió en l'ús de l'alumini en l'escultura ha realitzat un creixement força rellevant, molt apreciable a partir dels 90 i especialment al s. XXI.

Després de tot aquest recorregut, que ens ha permès entendre l'evolució seguida per l'escultura en alumini, hem pogut advertir que les obres realitzades amb fosa d'alumini han seguit una tendència creixent, mentre que

les que tenen un caràcter constructiu van augmentar en la dècada dels 60, mantenint una acció sostinguda en les següents i sofrint una davallada en les darreres; tanmateix, aquesta observació cal relativitzar-la i continuar ampliant-la amb el temps.

Pel que fa al color natural de l'alumini, aquest predomina de forma considerable en tot el conjunt d'obres revisades. Els tractaments de color es van incrementar en relació amb l'obra construïda en les dècades de finals de segle, especialment als 80 i a partir de llavors, han anat minvant. Respecte a les obres de fosa acolorides, l'increment en aquestes primeres dècades del s. XXI envers les de finals del segle passat, ha estat substancial.

El procediment d'acolorit dels aluminis mitjançant l'anoditzat sembla tenir molt poca rellevància. Som conscients que alguns dels artistes esmentats tenen més obra on apliquen aquests procediments d'anoditzat i acolorat, però fins i tot, prenent-les en consideració, es veu una incidència menor. Altrament, cal esmentar que no tenim informació suficient per determinar si el procés específic en l'aplicació del color posterior a l'anoditzat seguit en aquestes obres coincideix amb el portat a terme en aquesta recerca (mètode d'impregnació), les referències sols fan esment a l'anoditzat i a l'acolorit.

Si ens centrem exclusivament en les obres de fosa acolorades a partir d'aquest tractament, motiu principal d'aquesta recerca, l'expressió encara és menor: 5 obres esmentades (en la dècada dels 90, una de Kiki Smith; en la primera dècada d'aquest segle, dos de Koons, i en la segona dècada, una de Schantz i una de Barbara Brown, artista que té una producció

més àmplia), entre un escandall de 332 obres consultades. Relativitzant aquestes dades, suposem que existeixen més precedents d'obres realitzades amb aluminis de fosa tractades d'aquesta manera, però tot i així, aquestes deuen tenir una repercussió força minoritària, encara que ara per ara, nosaltres no en tenim coneixement i continuarem a l'expectativa, pendents de qualsevol nova informació.

1.3 Aspectes generals. Propietats i aliatges de l'alumini

En aquest apartat es pretén recollir i exposar, a través de les fonts documentals, els aspectes generals i bàsics sobre les característiques de l'alumini.

Es tracten els aspectes relacionats amb les propietats que caracteritzen l'alumini (físiques, químiques, mecàniques, tecnològiques i toxicològiques), els seus aliatges i les diverses nomenclatures usades per a classificar-los. A tall d'introducció, la informació recollida va destinada, a obtenir una visió general sobre d'aquest metall, i a presentar certs aspectes tècnics rellevants per a la recerca. Aquesta informació permet una millor comprensió dels capítols següents.

1.3.1_Aspectes generals

L'alumini es representa pel símbol Al, el seu nombre atòmic és 13 i pertany al "bloc p" de la taula periòdica¹ on estan situats els elements amb tendència a ser tous i a tenir un punt de fusió baix, dues de les característiques que determinen aquest metall.

Els metalls es caracteritzen per la seva brillantor, l'alta conductivitat tèrmica i elèctrica, l'opacitat, la fusibilitat i alguns, per la seva mal·leabilitat i soldabilitat. Dins d'aquest grup, l'alumini pertany a la subcategoria dels "no ferrosos", a la qual corresponen tots els metalls menys el ferro i els seus aliatges (ferrosos) (Kucher, 1989, p. 10).

Abans d'entrar a detallar certes propietats dels materials en relació amb l'alumini, cal tenir en compte un aspecte important que ens ajudarà a entendre futurs plantejaments d'aquesta investigació: el relacionat amb la seva estructura, la forma sòlida en què les seves partícules s'ordenen i s'empaqueten. L'alumini, com tots els metalls, és un sòlid cristal·lí² i en el seu cas, la seva xarxa cristal·lina és "cúbica de cos centrat" (en anglès *Body Centered Cubic* [BCC]); és a dir, que els àtoms que formen el patró

1 El bloc p el formen, a part de l'alumini, els següents elements metàl·lics: el gal·li, l'indi, l'estany, el tal·li, el plom i el bismut.

2 A grans trets, la diferència entre sòlids cristal·lins i amorfs és la que s'exposa a continuació:

Los sólidos se dividen, en función de la disposición mutua de los átomos, en amorfos y cristalinos. Llámense amorfos los sólidos cuyos átomos están dispuestos en el espacio caóticamente.... Llámense cristalinos los sólidos, en los cuales los átomos (iones, moléculas) se hallan en el espacio en un orden estrictamente definido, formando una red atómica cristalina. (Kucher, 1989, p.11)

que es repeteix en la seva estructura (cel·la unitària) estan ordenats de tal manera que a cada un dels seus vèrtexs del cub se situa un àtom i en el seu interior se n'emplaça només un (Callister i Rethwisch, 2016, pp. 48-76). És en el procés de cristallització que s'efectua quan el metall passa de líquid a sòlid, quan s'ordena la seva estructura, definint les seves característiques i per tant, les seves propietats. Kurcher (1989) explica el procés de la següent manera:

La esencia de este proceso consiste en lo siguiente: los átomos se mueven continuamente en el metal líquido, el movimiento se hace más lento a medida que disminuye la temperatura, los átomos se aproximan agrupándose en cristales denominados centros de cristalización. Luego a estos centros se asocian los cristales recién formados. Simultáneamente surgen nuevos centros.

Al principio el crecimiento de los cristales no encuentra obstáculos, conservando éstos la regularidad de la estructura de la red. Siguiendo el movimiento, los cristales chocan, y los grupos de cristales que se han formado tienen ya una forma irregular conservando, no obstante, la regularidad de la forma dentro del cristal. Tales grupos de cristales se llaman granos.... El tamaño de los granos influye sobre las propiedades de explotación del metal. (p. 13)

Hem de tenir clar doncs que com tots els metalls, abans de ser distribuït en el mercat, l'alumini ha estat fos i per tant, modificat estructuralment, fet que determinarà les seves propietats físiques, químiques i mecàniques (Morrall, Jimeno i Molera, 1982, p. 458).

Aclarirem que tot i tractar-se de les propietats en relació amb l'alumini

entès com a pur, per tal d'aportar matisos beneficiosos per a la present investigació i essent coherents amb el contingut al qual es refereixen els apartats *1.3.2.3_Propietats mecàniques* i *1.3.2.4_Propietats tecnològiques*, s'ha cregut adient quan el context o ha demanat, incloure aspectes relacionats amb els aliatges o els seus components.

1.3.2_Propietats de l'alumini

1.3.2.1_Propietats físiques

Osman i Rigney (2000) ens diuen que les propietats físiques es mesuren normalment, emprant mètodes que no requereixen l'aplicació d'una força o càrrega mecànica externa.

Physical properties are those typically measured by methods not requiring the application of an external mechanical force (or load). Typical examples of physical properties are density, magnetic properties (e.g., permeability), thermal conductivity and thermal diffusivity, electrical properties (e.g., resistivity), specific heat, and coefficient of thermal expansion. (par. 1)

Tot seguit s'exposen aquestes propietats:

Densitat. És fàcil i ràpid de comprovar que l'alumini és un metall lleuger, qualitat que es deriva de la seva baixa densitat, $2,699 \text{ g/cm}^3$ i que s'evidencia quan la comparem amb la d'altres elements com són l'acer ($7,8 \text{ g/cm}^3$), el coure ($8,92 \text{ g/cm}^3$) o el plom ($11,34 \text{ g/cm}^3$).

Coloració. A primer cop d'ull podem identificar el seu color "blanc" platejat amb tonalitats blavoses.

Reflectivitat. Es caracteritza per tenir la propietat òptica de ser molt reflectant. La superfície de l'alumini ben polida, amb els seus corresponents tractaments (mecànic, químic i/o electroquímics), reflecteix la calor i els

rajos de la llum; és a dir, que absorbeix molt poca radiació de la que impacta en la seva superfície. Per tant, la reverbera. Aquesta qualitat és portada al seu màxim exponent en l'alumini polit de gran puresa (Mondolfo, 1976, pp. 108-109; Brandt, 1984, p. 13; Rooy, 1990, Other Applications, par. 1).

Conductivitat elèctrica. L'alumini posseeix una alta conductivitat elèctrica que es tradueix en una alta capacitat per deixar passar a través d'ell l'electricitat. L'únic metall comú que el supera és el coure³, encara que a igual massa, l'alumini li dobla la capacitat. Els aliatges d'alumini són menys conductors, per això quan es requereix la màxima conductivitat s'utilitza alumini pur; en percentatges superiors al 99,99 % i a temperatures properes al zero absolut és quan es fa present la superconductivitat (The Aluminum Association [AA], 1989, pp. 2.1-2.2; Hufnagel, 1992a, p. 112; Davis, 1998a, p. 643).

Gràcies al seu mecanisme d'oxidació natural que potser promogut i augmentat de forma artificial mitjançant l'anoditzat (tractament superficial que exposarem més endavant), l'alumini també pot gaudir de propietats aïllants (dielèctriques), tant elèctriques com calorífiques (Wernick i Pinner, 1966, pp. 458-462, 464-465).

Conductivitat tèrmica. No és d'estranyar que l'alumini es caracteritzi per una bona capacitat per a transmetre calor ja que aquesta fa servir mecanismes similars, en el cas dels metalls, als de la conductivitat elèctrica (Hufnagel, 1992a, pp. 112-113). En aquest cas també és superat pel coure

3 La plata i l'or tenen una conductivitat elèctrica més elevada però són metalls nobles.

entre els metalls comuns⁴ (Chaussin, 1975, p. 289).

Fusibilitat. L'alumini pur fon a una temperatura de 660 °C, la qual podríem qualificar de relativament baixa i bull entre els 2052 °C i els 2480 °C. Sancho, del Campo i Grjotheim (1994) conclouen: "sus puntos de fusión y ebullición, tan distantes, garantizan una manipulación del metal fundido con unas mínimas pérdidas por volatilización" (p. 10) i Chaussin i Hilly (1975) afegeixen: "una perfecta estabilidad a cualquier temperatura, hacen fácil la fusión y la colada del aluminio" (p. 289). Una altra avantatge que aporta aquesta propietat és l'estalvi energètic i per tant, econòmic a causa de la seva baixa temperatura de fusió.

Dilatabilitat. Entenem l'expansió tèrmica com el grau de dilatació del metall quan es calenta i el de contracció quan es refreda. L'alumini té un grau de dilatació⁵ molt elevat [24α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) $\times 10^{-6}$], només superat pel zinc [26α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) $\times 10^{-6}$] i el plom [29α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) $\times 10^{-6}$]. L'increment de volum en els diferents graus de puresa de l'alumini pur pot variar entre un 6,2 % i un 6,8 % (Mondolfo, 1976, p. 63; Cverna, 2002, pp. 9-12). Un elevat canvi en el volum d'una peça metàl·lica no és una qualitat molt apreciada en el sector industrial i molt menys en els sectors que elaboren dispositius de precisió.

Magnetibilitat. Una altra propietat d'aquest metall no fèrric és que és paramagnètic; és a dir, que no és capaç de crear un camp magnètic, però quan s'interna en un s'imanta, essent aquesta imantació de naturalesa

4 En aquest cas, també la plata i l'or tenen una conductivitat tèrmica més elevada que l'alumini.

5 Les dades mostrades són extrems d'estudis de dilatació lineal.

molt dèbil⁶ (Hufnagel, 1992a, pp. 113-114).

1.3.2.2_Propietats químiques

L'alumini és un element químic amb capacitat de reaccionar amb determinats elements i compostos químics

Reactivitat. L'alumini és soluble en alguns àcids com el sulfúric (H_2SO_4) i el clorhídric (HCl); en alguns àlcalis com l'hidròxid de sodi (NaOH) i reacciona vigorosament amb els halògens (clor, brom i iode) formant halurs. En contacte amb l'aire respon formant una capa d'òxid (Gil et al, 2001, p. 14).

L'alumini en pols es considera molt perillós ja que és molt reactiu a l'aigua i a la humitat, fet que provoca que es desprenguin una gran varietat de gasos, entre ells l'hidrogen (H_2). Si aquests factors els sumem a un estat primigeni d'oxidació⁷, es corre el risc que s'inflami o faci explosió⁸ (Gascoin et al, 2009, pp. 348-352; Shimizu, 1981, pp. 121-122).

A causa dels seus nivells de reactivitat se li poden aplicar un ampli ventall de tractaments químics i electroquímics.

6 El comportament magnètic dels cossos es classifiquen, segons la seva "susceptibilitat magnètica"; en el cas dels ferromagnètics, la susceptibilitat és positiva; en els paramagnètics, és positiva però molt pròxima a 0 i en els diamagnètics, és negativa, <0.

7 Un cop l'alumini ha sofert una oxidació més profunda, els riscos són menors.

8 El format en pols és utilitzat per a fabricar armament, pirotècnia i additius per a propulsors.

Corrosivitat. La seva resistència a la corrosió és definida per la seva reactivitat, ja que l'alumini desenvolupa mecanismes de protecció contra la corrosió. La corrosió és el deteriorament, en aquest cas dels metalls per qüestions ambientals, per exposició a àcids o alcalins (pH), per contacte amb metalls propensos a l'oxidació, etc. En aquest fenomen intervenen dues semireaccions; l'oxidació i la reducció. Els factors ambientals que més influeixen en aquest procés són la humitat, l'aire, la salinitat i la temperatura.

Val a dir que les pèrdues econòmiques derivades dels efectes de la corrosió en els metalls són extremadament elevades. Gómez (2004) ens ho explica:

En términos económicos se estima que aproximadamente el 5 % del producto interior bruto (P.I.B.)⁹ de un país industrializado se gasta directa o indirectamente en prevenir y corregir problemas relacionados con la corrosión metálica.

Quando el factor primordial a considerar es la seguridad, los daños que puede ocasionar la corrosión sobrepasan a cualquier predicción. (p. 14)

L'alumini és capaç de protegir-se dels agents atmosfèrics i de certes substàncies orgàniques i inorgàniques, creant de forma natural una capa d'òxid (alúmina [Al_2O_3]); és el que s'anomena passivació. A diferència de l'òxid d'altres metalls, aquest és molt dens i adherent, característiques que li

9 El P.I.B. d'Espanya el 2018 va ser d'1.208.248 M. Per tant, segons aquestes dades, la seva inversió en evitar i sanejar la corrosió va ser de 60.407 M.

atorguen qualitats aïllants que eviten la propagació de l'oxidació a la part interna del metall. Si s'ataca aquest estrat protector amb algun mitjà mecànic o algun decapat químic, l'alumini torna a reproduir-lo és el denominat efecte d'"autocuració" (Hufnagel, 1992a, p. 175).

Aquesta capa és tan sols d'entre 0,001 i 0,0025 micres (μm). Així doncs, aquesta reacció natural el fa resistent a una certa corrosió lleu (Díaz et al, 2019, p. 2; Hunter i Fowle, 1956, p. 482). Per a poder fer més gruixuda aquesta protecció, s'utilitza l'anoditzat¹⁰, procés electroquímic que li pot arribar a procurar capes de fins a 100 μm . Runge (2018) assenyala la importància de la relació termodinàmica¹¹ per entendre que ocorre en aquest procés "why corrosion can occur in nature by way of chemical potential as the driving force, without an external electrical stimulus; and how by enhancing the driving force in the presence of an electrical stimulus, corrosion can be accelerated" (p. 235).

1.3.2.3 Propietats mecàniques

Osman i Rigney (2000) també ens diuen que les propietats mecàniques estan relacionades amb la resistència a la deformació o a la fractura enfront d'una determinada força o tensió.

Mechanical properties..., are described as the relationship between forces (or stresses) acting on a material and the resistance of the material to deformation (i.e., strains) and fracture. This deformation,

10 Analitzarem amb més deteniment aquest tractament superficial en el *Capítol 2*.

11 Part de la física que estudia la relació mecànica de la calor amb altres tipus d'energia.

however, may or may not be evident in the metal after the applied load is removed. (par. 1)

Aquestes propietats són definides per les forces externes que s'apliquen al material i són definides per paràmetres de duresa, ductilitat, mal·leabilitat, tenacitat i fragilitat; aquestes ens permeten diferenciar entre materials.

Cal apuntar que qualsevol variació en l'estructura del metall que trenqui la seva homogeneïtat pot crear alteracions en les propietats mecàniques. Aquestes alteracions poden ser produïdes per: canvis en la composició interna a causa de la inclusió d'altres elements en l'alumini, les addicions dels aliatges o d'impureses, les quals fan que sigui propens a trencar la seva uniformitat; el procés de conformació també juga un paper important en l'homogeneïtat i l'anisotropia¹² de la microestructura perquè pot variar l'orientació cristal·logràfica dels grans; alteracions per tensió, cisellat o compressió o la suma d'elles o també es poden veure modificades per exposició a productes químics (Osman i Rigney, 2000, par. 2).

Podem dir doncs, que aquestes propietats vindran forçosament influenciades per les anomenades anteriorment: les físiques i les químiques i per les tecnològiques que seran explicades en els següents apartats.

Per a definir les propietats mecàniques s'haurà d'establir la resistència del material sota diferents paràmetres mecànics, de deformació i de ruptura.

12 L'anisotropia és una característica de l'estructura interna dels materials. Si l'organització interna és inexistent són considerats amorfs; en canvi, si presenten una organització regular són isòtrops els que se situen entre aquestes dues categories són els anomenats anisòtrops.

Resistència mecànica

Duresa. La duresa és la resistència que ofereix a deixar-se penetrar, a l'abradió, al desgast o al ratllat. Cepeda (1982): “En Ingeniería, la dureza de un metal se determina por métodos basados en la resistencia a la penetración de un indentador de mayor dureza que la del metal que se prueba” (p.25). Els mètodes més comuns per a calcular-la són el Brinell¹³ (Chaussin, 1975, p. 113), el Rockwell i el Vickers.

Aquest no és un dels punts forts de l'alumini pur, ja que es pot afirmar que és un metall “tou”; aquesta característica és un dels motius que ha promogut el gran ventall d'aliatges¹⁴ que es disposa i de l'avenç en els postrataments tèrmics (aquests s'esmentaran tot seguit en l'apartat 1.3.2.4_ *Propietats tecnològiques*) (Wernick i Pinner, 1966, p. 19).

Resistència a la deformació

La flexió. Quan s'aplica una força sobre un metall aquest pot tornar a la forma inicial, patir una deformació o trencar-se. Si la càrrega aplicada és poca, és possible que quan aquesta deixi d'actuar, el metall torni a la seva forma inicial. En aquest cas s'anomena “deformació elàstica”; si les

13 El mètode Brinell es basa en una esfera de 10 mm de diàmetre d'acer endurit que es pressiona sobre el metall que es vol ficar a prova amb una càrrega de 3.000 kg (en les proves en alumini aquesta càrrega sol ser inferior). La mida de la marca de l'esfera sobre el metall d'estudi proporciona les dades per a valorar la duresa d'aquest. Els seus valors aniran des del HB=15 de l'alumini puríssim (tou), fins al H=110 d'alguns aliatges endurits tèrmicament (durs) (Hufnagel, 1992a, p. 59). És el sistema més fàcil a l'hora de determinar aquest factor.

14 La utilització de certs materials pesats com el coure, ha millorat la duresa de l'alumini, però per una altra banda li donen més afinitat a la corrosió (Wernick i Pinner, 1966, p. 20).

càrregues són d'una magnitud elevada, la composició atòmica de l'estructura del metall pot arribar a deformar-se. És a dir, els àtoms canvien els seus enllaços, fet que anomenarem “deformació plàstica”¹⁵; si els àtoms no són capaços de crear nous enllaços, es produeix un trencament (ruptura) (Salán, 2005, p. 37).

Ductilitat i mal·leabilitat. Dins de la deformació plàstica trobem aquestes dues qualitats en els quals l'alumini destaca favorablement, a causa de la seva alta capacitat de deformar-se, en forma de fil o de làmina prima quan se li apliquen esforços de tracció i de compressió sense trencar-se (de la Poza, 1991, p. 24). Aquesta virtut ve propiciada per la gran capacitat de moviment de les dislocacions¹⁶ de l'estructura cristal·lina de l'alumini (Morral, Jimeno i Molera, 1982, p. 474).

Resistència a la ruptura

Fragilitat i tenacitat. S'entén que a causa de la seva aptitud per a la deformació plàstica, no és un metall fràgil i com ja hem comentat, és un metall tou; és a dir, que té un grau de tenacitat elevat. En altres paraules, és capaç des del punt de vista teòric, d'absorbir l'energia d'impacte sense patir cap fractura¹⁷.

15 La “plasticitat” és la capacitat de deformar-se d'un metall quan és sotmès a una força de manera permanent, sense trencar-se.

16 Les “dislocacions” són defectes en els cristalls ja que aquests, en la realitat no són perfectes que faciliten el seu desplaçament.

17 La fragilitat és mesura amb termes de ductilitat i de mal·leabilitat. La tenacitat depèn de la ductilitat i de la resistència.

Resistència a la fatiga. Quan actuen càrregues fluctuants sobre el material, ja siguin de tracció, de flexió, de compressió o de torsió, aquest pot arribar a trencar-se; la resistència a la fatiga depèn del nombre de cicles que pot aguantar sense patir una ruptura; la fatiga va estretament relacionada amb la tenacitat, els defectes i les característiques estructurals. L'alumini presenta una gran resistència a la fatiga, superant assajos de $50 \cdot 10^6$ cicles, número molt superior al de l'acer ($10 \cdot 10^6$) (Hufnagel, 1992, p. 361) gràcies al seu alt grau de tenacitat¹⁸.

Resistència a les altes i les baixes temperatures

L'alumini té una baixa resistència a les temperatures elevades, no essent recomanable superar els 200 °C per evitar que les seves propietats minvin. En el cas de ser exposat al foc, l'alumini no s'inflama, sinó que es fon. Un altre tema són les partícules de pols; aquestes com ja hem comentat, són altament reactives i per tant poden esclatar (Kaufman, 2016, pp. 2, 4).

Per altra banda, el seu comportament a temperatures baixes és excel·lent i les seves característiques mecàniques tendeixen a augmentar (Sverdlin, p. 2084). La resistència elèctrica disminueix, però torna a augmentar ràpidament a partir del -230 °C (Barrand i Gadeau, 1968, pp. 15, 21, 40)

Sonoritat

L'alumini propaga les ones del so a gran velocitat (6.400 m/s), tot i tenir

¹⁸ Els assajos de tracció serveixen per a definir el límit elàstic, càrrega màxima que el material pot suportar sense trencar-se i el límit aparent d'elasticitat, càrrega màxima que pot experimentar un material sense patir una deformació permanent.

un mòdul de Young elevat¹⁹ (66,6 GPa) aquest es contraresta amb la tan apreciada baixa densitat que el caracteritza.

Ja en el seu moment Sainte-Claire (1856), el reconegut químic involucrat amb els grans avenços del segle XIX relacionats amb l'obtenció d'alumini i en la formulació d'aliatges, descrivia les possibilitats sonores de l'alumini:

Une propriété très-curieuse, et que l'aluminium manifeste avec d'autant plus d'intensité qu'il est plus pur, c'est une sonorité excessive qui fait qu'un lingot d'aluminium, suspendu à un fil fin et frappé d'un coup sec, produit le son d'une cloche de cristal. M. Lissajous, qui a constaté avec moi cette propriété, en a profité pour construire avec de l'aluminium des diapasons qui vibrent fort bien. (p. 14)

Poc després d'aquest fet, l'alumini es començà a utilitzar per a la construcció d'instruments com per exemple violins i guitarres (Holmes, 1997); també es realitzaren campanes, però les primeres produccions varen identificar que la forma d'aquestes, quan es realitzaven en alumini, no podien ser la mateixa que les conformades en bronze, essent necessària una modificació en el seu disseny; la forma s'aproxima més a un gong que a una campana tradicional (Holmes, 1936, p. 745). Duponchelle (1932), en el seu "Manual del Fundidor de Metales", també fa referència a la seva alta sonoritat (p. 14).

Avui en dia, l'alumini és un dels metalls que es fa servir per a fabricar diapasons que són emprats en l'otologia per a diagnosticar la pèrdua d'oïda

¹⁹ Paràmetre que caracteritza el comportament d'un material segons l'elasticitat.

conductiva²⁰. La “impedància acústica”, també és una característica de l'alumini que s'està investigant a partir del procés de l'anoditzat²¹.

1.3.2.4_Propietats tecnològiques

Aquestes propietats es refereixen al comportament del material al ser treballat; és a dir, als aspectes funcionals de les propietats anteriors.

Aleabilitat. L'alumini és susceptible de ser aliat és a dir, que se li poden afegir altres elements, metàl·lics o no, combinant-se en una barreja homogènia.

L'aliatge també el podem definir com una solució sòlida, dos o més elements químics (solut) que són capaços de combinar els seus àtoms amb els d'un solvent²². Aquesta mescla afecta les propietats de l'alumini, fet que a possibilitat poder-lo adaptar a les diferents prestacions exigides. Val a dir que pocs metalls s'utilitzen en estat pur²³.

Es poden contar un gran nombre d'aliatges d'alumini. La classificació es desenvoluparà en l'apartat *1.3.3_L'alumini i els seus aliatges*.

Forjabilitat. A causa del seu alt grau de plasticitat esmentat anteriorment,

20 Bloqueig o reducció de la transmissió del so des de l'oïda externa i mitja a la interior.

21 La impedància acústica és la resistència al pas de les ones sonores.

22 Solució sòlida; rep aquest nom perquè el resultat final obtingut, de combinar els elements és en estat sòlid. Solut; element afegit. Solvent; element pur. (Salán, 2005, p. 26).

23 Només quan es requereix un alt grau de conductivitat elèctrica; s'empren en alts graus de puresa els metalls molt conductors com l'alumini i el coure (Salán, 2005, p. 27).

l'alumini té una gran capacitat de ser “forjat” (Chaussin, 1975, p. 112). És capaç d'adoptar una varietat molt amplia de dissenys. Aquesta propietat és la que defineix un dels dos grans grups d'aliatges d'alumini, sent aquest el dels aliatges de forja.

La seva ductilitat permet obtenir, mitjançant l'extrusió en premses, filaments de gruixos molt reduïts, com són els cables elèctrics o el “filferro” d'alumini i perfils de múltiples formes; per altra banda, la seva bona maleabilitat es tradueix en la possibilitat, a partir de laminadores, de produir elements dotats de molta superfície amb el gruix desitjat com són els rotllos de làmines d'alumini (de 0,007 a 0,20 mm) o les xapes de gruixos diversos que poden anar de 0,5 a 50 mm (Hufnagel, 1992, p. 255). El ventall de possibilitats acull altres variants dels mecanismes de transformació, com són el forjat per encuny que li dona forma a un lingot a partir de la pressió exercida en un motlle.

Els productes resultants d'aquests processos són els anomenats semielaborats, aquells en els quals la matèria primera ha estat treballada però no prou com per a obtenir un bé de consum definitiu.

Col·labilitat. Aquesta propietat es defineix, en el context de la foneria, com la capacitat que té un metall o els seus aliatges per a emplenar un motlle sense patir defectes, com per exemple esquerdes, porositats i/o segregacions entre d'altres (Arnberg, 2008, 375). La col·labilitat és la “pedra angular” de l'art de la fosa.

L'esmentada propietat es calcula en paràmetres de fluïdesa que pot ser mesurada a partir de la distància que pot recorre, en el nostre cas, l'alumi-

ni o un aliatge abans de solidificar-se. Per a comprovar la fluïdesa podem utilitzar diverses proves, de les quals les més comunes i més accessibles són la prova de fluïdesa en espiral i la de multicanal; però hem de tenir en compte que aquestes no contemplen tots els factors que s'han descrit anteriorment (Di Sabatino i Arnsberg, 2009, p. 322).

Stoll (2019) defineix sota el concepte *fluid life* (vida del fluid) "(...) the ability of the molten alloy to fill the mold cavity, flow through thin narrow channels to form thin walls and sections, and conform to fine surface detail" (p. 232).

Di Sabatino (2005, p. 5) i Arnberg (2008, p. 375) esmenten els factors que influeixen en la fluïdesa del metall durant l'operació de colada, diferenciant entre:

- els relacionats directament amb el metall; per tant, la composició del metall o dels seus aliatges, l'interval de solidificació (viscositat) i la temperatura de fusió que són els comentats en aquest apartat²⁴.

- i els que corresponen a la tècnica de fosa, el motlle i el sistema de colada²⁵.

²⁴ Aquests seran tractats en l'apartat 3.1_*La fosa de l'alumini i dels seus aliatges*.

²⁵ Els relacionats amb el metall i la superfície de recepció (motlle) són: el coeficient de transferència de calor del revestiment, la conductivitat tèrmica i la densitat del motlle i del metall, la calor específica i la tensió superficial i els relacionats amb l'operació: la secció del canal, la temperatura de colada i el contingut d'òxids i impureses. Per a obtenir bons resultats en la colada del metall s'han de tenir en compte tots aquests factors; aquests seran tractats amb més detall en els subapartats de l'apartat 3.1_*La fosa de l'alumini i dels seus aliatges*.

L'alumini té una excel·lent fluïdesa que és veu afectada notòriament a mesura que la seva composició química es veu alterada. A partir de la lectura d'una prova de fluïdesa en espiral, Di Sabatino (2005) ens aporta aquestes dades que exemplifiquen la pèrdua de fluïdesa de l'alumini pur a conseqüència de l'addició d'impureses: "Fluidity was reduced about 25% with 0.4% impurity (Al purity from 100% to 99.6%), and about 37% and 40% with 0.8% and 1.2% impurity (i.e. Al purity of 99.2% and 98.8), respectively" (p. 15). Per tant, per poc que alterem la seva composició l'alumini "pur" experimenta una caiguda vertiginosa de la seva col·labilitat.

Per altra banda, la viscositat és un factor poc influent mentre es mantingui la temperatura de colada adequada; en el cas que això no sigui així, l'estructura i la qualitat de la fosa es veuran afectades. La viscositat disminueix i varia segons els components dels aliatges. És possible millorar-la realitzant una neteja acurada del metall fos, extraient els òxids i les inclusions del caldo (Campbell, 2019, p. 877; Hatch, 1984b, pp. 16-17).

Els metalls purs i els aliatges eutèctics²⁶ tenen un alt grau de fluïdesa a causa del suau front de solidificació²⁷ que es produeix mentre omplen el motlle²⁸, mentre que els aliatges, a excepció d'alguns d'ells, flueixen

²⁶ Aliatges en els quals els seus components s'han barrejat de forma homogènia i s'han connectat íntimament. Els seus components se solidifiquen a la mateixa temperatura.

²⁷ La solidificació s'inicia un cop el metall fos perd la temperatura que sobrepassava el seu punt de fusió.

²⁸ A mesura que va circulant pel motlle es va refredant de forma gradual el metall que està en contacte amb les seves parets, deixant en el seu interior espai perquè el metall líquid flueixi; el metall de les parets és refós pel que encara manté la temperatura, produint-se una resolidificació més endavant, fins que arriba un moment en què s'acaba tancant la conducció i, en conseqüència, escanyant el fluid (Di Sabatino, 2005, p. 6; Campbell, 2015, p. 97).

menys perquè el seu front de solidificació és ràpid, fet provocat per l'obstrucció del metall líquid per acumulació de dendrites²⁹ (Campbell, 2015, pp. 97-109; Stoll, 2019, pp. 232-233).

En general, els aliatges d'alumini que es consideren més adequats per a dur a terme produccions que requereixen una bona col·laborabilitat, entre altres propietats, s'aixopluguen sota els anomenats "aliatges de fosa".

L'alumini, gràcies a les seves propietats físiques, baixa densitat i temperatura de fusió baixa, és un metall molt atractiu per a processos de fosa i d'emmotllament (Salán, 2005, p. 80).

Maquinabilitat. La pràctica del mecanitzat es basa en l'extracció de material, llimadures, sigui per arrencament o per abrasió; aquesta està constituïda per diversos processos, sent els més comuns en l'escultura de fosa en alumini: el tall, el desbast, el fresat, el perforat, el llimat i el polit.

Per tal d'avaluar la maquinabilitat, la capacitat d'un metall per a ser mecanitzat, es pot analitzar la forma de la llimadura, la qualitat superficial obtinguda, el desgast de les eines i la força de tall que s'ha d'aplicar (Hufnagel, 1992, p. 527-528).

Morrall, Jimeno i Molera (1982), Black (1999) i Davis (1998a) coincidei-

²⁹ Les dendrites són cristalls metàl·lics que sorgeixen durant la solidificació.

En el sistema de solidificació pastosa intervenen les dendrites i els bifilms d'òxid provocats per les turbulències (Campbell, 2015, p. 99).

El desenvolupament d'aquest fenomen és motiu de certa controvèrsia entre els estudiosos del tema, per tant es recomana consultar la bibliografia especialitzada si el lector o creu necessari.

xen amb altres autors en què l'alumini es considera de mecanitzat fàcil. Aquesta apreciació ve argumentada per l'escassa força de tall que s'ha d'aplicar per a l'arrencament de la llimadura, essent un 70 % menor que la de l'acer; pel poc desgast que sofreixen les eines i pel seu baix consum de potència; pel bon acabat superficial que proporciona i per la seva excel·lent conductivitat, que permet una ràpida difusió de la temperatura. Per tal de reproduir aquesta conjuntura, la velocitat de treball de les eines ha de ser elevada la pressió exercida sobre la peça ha de ser baixa s'ha de procurar un bon refrigerat de la peça i s'han d'utilitzar fungibles i eines especialitzades³⁰ (Cohen, 1999, p. 17; ASM Committee, 1999, pp. 761-804).

Els diferents aliatges presenten diverses peculiaritats en el seu mecanitzat que difereixen de les genèriques de l'alumini pur (Davis, 1998a, p. 328). Cal apuntar que els tractaments tèrmics, els quals anomenarem tot seguit, també influeixen en el mecanitzat.

Trempabilitat

Quan parlem de trempabilitat ens referim a la capacitat de certs materials per a modificar la seva estructura cristal·lina mitjançant processos d'es-

³⁰ Malgrat tenir un mecanitzat fàcil, el sobreescalfament de la superfície durant el mecanitzat pot afavorir l'embotiment de les eines de treball i els possibles canvis estructurals en la superfície de l'alumini. Tot i haver utilitatge especial per al mecanitzat de l'alumini és complicat evitar l'acumulació de partícules de metall entre les dents de tall i en les superfícies abrasives; serà doncs convenient, quan sigui possible, utilitzar productes que lubriquin la sobrefaç per tal de reduir l'embotiment i facilitar l'evacuació de les llimadures, evitant així els desbastats i polits irregulars i el desgast i la ineficiència dels components (Hatch, 1984a, p. 220; Nachtman, 1999, pp. 121-122).

Aquest embotiment pot ser afavorit per l'extraordinària conductivitat tèrmica de l'alumini, fet que també el fa de difícil manipulació en el moment de fer certes operacions, com el desbastat i el polit amb certa maquinària.

calfament i refredament.

El descobriment de la possibilitat d'aplicar aquesta propietat als aliatges d'alumini va significar un gran avenç en el seu desenvolupament en el sector industrial. L'alumini, per si sol només pot millorar les seves propietats mecàniques mitjançant l'enduriment per tensió i el treball en fred, però un cop aliat amb certs elements³¹ és susceptible de ser tractat tèrmicament (Howard, Bogh i Mackenzie, 2003, p. 881); aquests tractaments permeten obtenir o potenciar certes propietats, un cop realitzada la fosa, ja que possibiliten canviar l'estructura de la peça resultant.

Per tal d'estandarditzar els tractaments tèrmics que es poden aplicar, s'ha creat un sistema de designació que aporta la informació necessària sobre el tipus de tractament i per tant, sobre les noves qualitats obtingudes. Aquesta designació ve definida per una lletra majúscula que se situa després de la designació de l'aliatge i indica, de forma genèrica, quin tractament s'ha aplicat. Tot seguit s'afegeix un número que pot ser de diversos dígitos, que serveix d'especificació dins de cada tractament³² (Kaufman, 2000, p. 10).

L'ampli ventall de tractaments tèrmics, sumat a l'àmplia varietat d'aliatges, converteixen a l'alumini en un metall polifacètic, capaç d'adaptar-se a re-

31 No tots els aliatges accepten aquests tractaments.

32 El sistema de designació utilitzat és el creat per la *Aluminum Association* (AA), el qual està reconegut pe l'*American National Standards Institute* (ANSI) mitjançant la norma H35.1. Tot i ser un sistema ideat i reconegut per institucions americanes és emprat a escala internacional. Per a indagar sobre la nomenclatura es pot consultar el document "Aluminum Alloy and Temper Designation Systems of the Aluminum Association" (Kaufman, 2000).

quisits exigents³³.

Soldabilitat

S'entén per soldadura, la unió per calor i/o pressió, amb aportació de metall o sense, de dues o varies peces metàl·liques (Salán, 2015, p. 111).

L'afinitat que l'alumini té per l'hidrogen (tema sobre el qual insistirem en l'apartat 3.1.7.2_*Gasos*), fa difícil obtenir una soldadura sense porus. Si a aquest fenomen li afegim la humitat, present en el conjunt dels elements utilitzats per a la pràctica de la soldadura (elèctrodes, fil, gas, manegues, etc.) i les restes d'òxid o de grassa en la superfície que es pretén soldar, la porositat en la soldadura pot arribar a nivells inacceptables (Mathers, 2002, pp. 20-22).

Un altre aspecte perjudicial per al procés de soldadura és la capa d'alúmina generada de forma natural per l'alumini; aquesta s'ha d'eliminar mecànicament o químicament per evitar atrapaments d'òxid en la soldadura que poden derivar, segons l'*American Society for Metals* (ASM) (Davis, 1998b, *Fabrication Characteristics*, par. 14), en pèrdua de ductilitat, en una fusió defectuosa i en esquerdes. L'òxid d'alumini (Al_2O_3) té el punt de fusió a 2060 °C, molt més alt que el de l'alumini (660 °C), fet que pot provocar que el material aportat quedi aïllat per l'alúmina i no es produeixi la unió (Mathers, 2002, p. 23).

33 Els tractaments tèrmics, que es poden aplicar als aliatges d'alumini, poden ser d'interès per a obtenir variacions en els resultats aportats per l'anoditzat, però per l'especificitat d'aquests tractaments i la infraestructura requerida per a portar-los a terme, és un tema que es reserva per a futures investigacions.

La temperatura necessària per a soldar l'alumini és més baixa, comparada amb altres metalls o aliatges, gràcies a la seva baixa temperatura de fusió. L'alta conductivitat tèrmica que caracteritza aquest metall és un factor que dificulta la soldadura, ja que exigeix que la font de calor sigui intensa i concentrada per evitar ràpides pèrdues de temperatura (Lincoln Electric, s.d., p. 5; Mathers, 2002, p. 5) però per una altra banda, el refredament ràpid del toll de la soldadura facilita la seva pràctica fora de posició³⁴. Un altre aspecte a tenir en compte, associat a la temperatura, és l'elevat coeficient d'expansió tèrmica que es pot traduir en deformacions en l'espai d'unió. En els aliatges d'alumini, al ser combinacions de diferents elements, poden aparèixer esquerdes en la soldadura causades per les variacions en el refredament dels seus components. És important, per tal d'evitar aquests defectes i d'altres que el material d'aportació sigui igual o similar al de les peces a unir (Mathers, 2002, pp. 25, 29, 84).

Altres factors poden afectar a la soldadura de l'alumini, però molts d'ells són derivats de l'errònia preparació de les peces que es volen soldar i de les males pràctiques en l'acció o en la utilització de la maquinària i no del metall emprat; com per exemple, una incorrecta preparació de les vores a unir, un angle incorrecte del dispositiu, velocitat de desplaçament inadequada, excés d'aportació de metall i potència massa baixa, entre d'altres.

Per últim, afegirem que el color de l'alumini no canvia a l'augmentar la seva temperatura. Això no afecta directament a la qualitat de la soldadura, però pot dificultar l'aplicació de certs processos (Mathers, 2002, p. 5),

³⁴ S'entén per soldadura fora de posició la que es realitza fora de la posició plana (horitzontal).

com per exemple el de l'anoditzat i acolorat, tema tractat en la present investigació.

Reciclabilitat / Recuperabilitat

L'alumini és un material 100 % reciclable; és a dir, té el potencial de ser reutilitzat mitjançant un procés de transformació, sense que això alteri "totes les seves propietats" i per aquesta raó se l'ha designat com el "metall verd"³⁵.

Quan l'alumini a passat pel pertinent procés de reciclat s'anomena alumini de segona fusió³⁶. L'alumini es recupera de la "ferralla" a partir de la seva fosa i refinat. Aquesta pot tenir el seu origen en les romanalles de les fàbriques de producció³⁷; en aquest cas s'anomena "ferralla nova" o provenir dels productes que han estat consumits i han arribat al final de la seva vida útil, la "ferralla vella" (Schlesinger, 2007, p. 43).

Segons Green (2007) "global aluminum recycling rates are high, approximately 90 % for transport and approximately 60 % for beverage cans. In Europe, aluminum has high recycling rates, ranging from 41 % in beverage cans to 85 % in construction and 95 % in transportation. In Japan, the recycling rate for cans was 79 %, and Brazil achieved 78 %." (p. 113). Les dades que es refereixen al 50% en el reciclatge d'envasos, el 2002, varen

³⁵ L'alumini no és biodegradable, per tant és necessària l'acció humana per a tancar el cicle de recuperació un cop a acabat la seva vida útil (reciclatge).

³⁶ Vegeu l'apartat 1.3.3.1.1_*Segons la seva procedència*.

³⁷ Dins d'aquesta catalogació s'inclouen tant les fonerries d'alumini primari (producció primària) com les indústries que fabriquen productes metàl·lics (producció secundària).

significar 36 milions de tones; és per tant evident que l'alumini ha esdevingut un negoci molt lucratiu

Estalvi energètic i reducció d'emissions

Es considera que un 75 % de l'alumini produït durant la seva història segueix encara en curs (Asociación para el Reciclado de Productos de Aluminio [arpal], 2020) i que l'energia necessària per al seu reciclatge és només d'un 5% de l'energia que s'utilitza en l'obtenció d'alumini primari, produint-se un estalvi molt substancial, fet que el converteix en un residu molt valuós (Green, 2007, p. 114).

Als aspectes que influeixen en la reducció del capital si han de sumar els beneficiosos per al conjunt de la societat com la reducció d'emissions de CO₂ i d'altres; també la reducció de residus sòlids com els fangs vermells derivats de l'extracció de l'alúmina de la bauxita³⁸ (Schlesinger, 2007, p.7).

El reciclatge de l'alumini no elimina totalment la contaminació, però sí que n'origina un descens significatiu (eco-eficiència)³⁹. Des de fa dècades s'està treballant per a minimitzar al màxim els residus derivats del reciclatge, com són l'escòria i els gasos provocats pels productes adherits, sobretot a la "ferralla" vella, que es fan presents durant la fosa. En el cas dels olis, pintures i laques, amb els que pot estar revestida la "ferralla",

38 El fang vermell necessita grans àrees de terreny per al seu emmagatzematge ja que la seva producció mundial anual, en sec, és d'aproximadament 60 milions de tones i signifiquen un alt risc de contaminació de l'aigua i l'aire (Rubinos, 2007, pp. 27 i 29).

39 El concepte eco-eficient, en el sector industrial, se centra bàsicament en reduir (la primera R); en conseqüència, es basa en consumir menys recursos, utilitzar menys energia i minimitzar la contaminació i els residus.

es pot solucionar fàcilment aplicant un procés de decapat abans de fondre el metall; part de l'escòria també té solució ja que existeixen diversos processos que permeten recuperar l'alumini que pugui estar contingut en ella, reduint el volum de residu. (Schlesinger, 2007, pp. 79-80, 194-205).

Per culpa dels baixos nivells d'impureses⁴⁰ que toleren els aliatges de forja, un gran volum de l'alumini secundari va destinat als aliatges de fosa. Per altra banda, la demanda és més alta en el primer tipus d'aliatges que en el segon. El problema més greu se centra en els elements aliants no desitjats ja que la rectificació d'aquests només és possible afegint alumini primari o reformulant aliatges que en la seva composició final aquests elements hi estiguin en un percentatge més elevat. Per tal de millorar aquesta situació, s'estan desenvolupant mecanismes per a determinar els tipus d'aliatges en el destriat efectuat abans de la fosa i sistemes de tractament més eficients (Green, 2007, pp. 116-118, 129; Schlesinger, 2007, p. 176).

A causa de l'excés d'aliants no desitjats es considera que l'alumini és un material infrareciclat (*downcycling*). McDonough i Braungart (2005) exposen que el concepte d'eco-eficiència industrial, centrat en les "tres R" (reduir, reutilitzar i reciclar), aporta certs beneficis al medi ambient, però que aquesta mentalitat en moltes ocasions es tradueix en infrareciclatges, materials⁴¹ reciclats que han perdut qualitats en relació al material origi-

40 Les principals impureses són l'hidrogen, els metalls reactius (sent els més importants el sodi, el calci i el magnesi) i les inclusions. També es consideren impureses els elements aliants no desitjats o en percentatges massa elevats (Schlesinger, 2007, p. 171 i 173 i 176).

41 McDonough i Braungart (2005) classifiquen els materials en: matèria biològica que produeix "nutrients biològics" útils per a la biosfera i matèria tècnica que aporta "nutrients tècnics" útils per a la "tecnoesfera" (p. 88).

nari (pp. 48-49, 52-53).

Aquestes afirmacions són parcialment encertades. És evident que l'alumini es pot reutilitzar i que també es pot reciclar; és obvi que el seu procés de transformació requereix energia i produeix emissions, però l'afirmació que el reciclatge de l'alumini i els seus aliatges, són infrareciclatges no és del tot verídica. Com ja hem comentat la "ferralla" d'alumini, tot i tenir aliants que en certes ocasions no permeten obtenir alumini prou pur per a ser destinat a certes produccions, possibilita reformular multitud d'aliatges aptes per a abastir moltes de les necessitats productives, sense perdre qualitats matèriques, fet que l'hi permet acomplir sense problemes amb la finalitat demandada. Un altre aspecte que no s'ha de passar per alt és el seu potencial de tornar a ser "re-reciclat" (McDonough i Braungart, 2005, p. 85). Per últim, insistir en el fet que el cost de l'alumini de segona fusió és molt més econòmic que la producció del de primera.

Per tant, les valoracions que de vegades es plantegen sobre el valor del reciclatge de l'alumini són, si més no, qüestionables. No és la nostra intenció advocar que aquest metall, en aquests moments, es troba inclòs totalment en el concepte "Cradle to Cradle"⁴² (del Bressol al Bressol), però sí que volem recalcar que tampoc es pot encasellar en la versió del "Cradle

Els mateixos autors introdueixen el terme eco-efectivitat, referint-se a aquella producció que té en compte ser efectiva, tant en el propòsit al qual es destina com en altres funcions col·laterals en els quals pugui aportar beneficis mediambientals, incloent-hi també, en el seu disseny i producció, l'efectivitat després de la seva vida "útil" (pp. 84-85).

42 Aquest concepte fou encunyat i definit per primera vegada l'any 2002 pel químic-ecologista alemany William McDonoug i l'arquitecte-paisatgista estatunidenc Michale Braungart i es refereix a un sistema biològic cíclic que contempla que el final útil d'un producte és el principi d'un nou producte igual o millor que l'original.

to Grave" (del Bressol a la Tomba), que engloba aquells materials en els quals el seu cicle de vida se centra en ser utilitzats i, un cop utilitzats, ser tirats a les escombraries. Sí que certes pràctiques, com afegir a les foses de ferro una mica d'alumini per a desoxidar-lo, propicia la seva colada (Lampman, 1991, par. 14; De la Poza, 1991, p. 23) i que l'alumini emprat es perdi definitivament, però aquest és un tipus de reciclatge que necessitaria d'una anàlisi especialitzada.

En un altre nivell trobem el "suprareciclatge" (upcycling), el qual es refereix a aquella producció, derivada del reciclatge que aporta qualitats superiors de les que estava dotat el producte d'origen (producte abans del reciclatge) a l'article resultant; en aquest nivell s'engloba la producció artística, capaç d'aportar aquest valor afegit al reciclatge.

En la present investigació l'"upcycling" hi està presents. Si partim del fet que, la majoria dels aliatges que s'han utilitzat són d'alumini reciclat, i que aquests han estat fosos per a obtenir avenços en la fosa artística en alumini i en els seus acabats cromàtics i que, a més a més, a partir dels resultats obtinguts s'ha realitzat una producció escultòrica, sembla evident que els aliatges d'alumini reciclat que en boca dels més puristes, no tenia les mateixes propietats que abans de passar pel procés de recuperació, han adquirit un valor superior gràcies a la investigació i a la creativitat.

Està clar que el tema del reciclatge de l'alumini és molt més extens i té molts més matisos, dels que es tracten en aquest apartat adreçat a les propietats; per tant, per a profunditzar-hi més el lector s'haurà de dirigir a la literatura especialitzada.

Tractabilitat superficial

Per tractabilitat superficial entenem la potencialitat d'un material per acceptar processos que poden alterar-l'hi o millorar-l'hi aspectes de rendiment i/o aparença.

Revestiment electrolític o electrodeposició

L'electrodeposició o galvanoplàstia és un tractament electroquímic que es basa en el revestiment metàl·lic d'una superfície a partir d'una reacció química que s'efectua mitjançant electricitat. L'alumini és apte per a sotmetre's a aquest procés, obtenint d'aquesta manera una pell proveïda amb les qualitats del metall dipositat.

Els metalls més comuns emprats en aquest tractament quan és aplicat a l'alumini són el crom (cromat) i el níquel (niquelat), els quals ofereixen un atractiu aspecte decoratiu quan s'utilitzen amb aquests fins, però també confereixen duresa i resistència al desgast quan el gruix o la combinació són els adequats i una excel·lent resistència a la corrosió. També s'usen altres metalls com el zinc (zincat) per a recobriments anticorrosius; el coure (cobreat), per aportar una molt bona conductivitat elèctrica i tèrmica, valors estètics i per a crear recobriments uniformes, capaços d'emplenar les imperfeccions superficials (ratlladures i cavitats); l'estany (estanyat), per augmentar-ne la soldabilitat o els metalls preciosos, com la plata (platejat galvànic) i l'or (daurat galvànic) quan es tracta de millorar la conductivitat elèctrica, la resistència al desgast, aspectes hipoal·lèrgics o qüestions estètiques. Igualment es poden aplicar recobriments compostos per varis metalls; aquests s'anomenen multicapa o per aliatges (Vanden,

1967, p. 161; Wernick i Pinner, 1966, pp. 470-471; Kanani, 2004, pp. 9-11; Ganburg i Zangari, 2011; Møller, 1994).

Revestiment químic

Les diferències entre aquests tipus de tractaments i els d'electrodeposició recauen en el procés i en els resultats obtinguts ja que la finalitat és la mateixa i els metalls que s'hi dipositen també.

Remarcarem que el revestiment químic no utilitza una font d'energia externa mentre que l'electrodeposició necessita aquesta aportació d'energia complementària; en el seu lloc utilitza una solució d'ions metàl·lics.

En paràmetres de resultats i eficiència, l'electrodeposició permet obtenir resultats en breu temps⁴³, però la qualitat no és excel·lent, mentre que el químic és molt més lent, però ofereix acabat homogenis, de precisió, i la possibilitat de recobrir materials no-metàl·lics.

Característiques específiques de l'alumini a tenir en compte en aquests tractaments.

Una de les característiques de l'alumini, la qual ja hem comentat i que seguirà apareixent en el transcurs d'aquesta investigació és l'oxidació natural que sofreix; aquesta, en els tractaments de recobriment, és una qualitat no desitjada. La superfície oxidada no permet que la capa de recobriment s'adhereixi correctament, per tal d'evitar acabats defectuosos, es practica

43 El binomi temps-benefici és molt apreciat en la producció industrial.

després d'haver eliminat la superfície oxidada, un primer bany amb zinc o estany (capa intermèdia); aquests també eviten la dissolució de l'alumini en el bany de recobriment definitiu. Aquest procés intermedi, normalment es du a terme mitjançant el revestiment químic (Burgess, 2019, p. 287; Ganburg i Zangari, 2011, p. 262; Møller, 1994, p. 8).

L'alt percentatge d'expansió tèrmica també és un factor a tenir en compte, ja que aquest quasi sempre és superior al del metall de recobriment; un escalfament, després d'haver realitzat el tractament de deposició, pot significat que el revestiment s'esquerdi, o fins i tot, que s'arribi a separar (Møller, 1994, p. 5). Altres propietats en les quals no entrarem en detall, que poden alterar el tractament són la naturalesa amfòtera⁴⁴ de l'alumini i la seva diferència de potencial quan fa la funció d'elèctrode⁴⁵ en relació amb l'elèctrode d'un altre metall o la solució metàl·lica (Wernick i Pinner, 1966, p. 471).

Per altra banda, la deposició d'un material sobre la superfície d'un altre significa que les dimensions de la peça recoberta, augmentaran i per tant, és un factor a tenir en compte quan es tracta d'acabats de precisió dimensional.

Tot i les variables a considerar, aquests tipus de tractaments tenen un gran potencial ja que possibiliten combinar la tan apreciada baixa densitat de l'alumini amb les excel·lents qualitats d'altres metalls, permeten utilitzar-lo per a finalitats que per si sol no seria apte o competitiu.

44 Que pot reaccionar com a àcid o base.

45 En l'apartat 2.3.1_ *Anoditzat, ànode i càtode* s'explicarà en detall què és un elèctrode.

Anoditzat

L'alumini crea una superfície d'òxid de forma natural per a evitar la corrosió la qual pot ser potenciada de forma artificial. La manera de controlar i ampliar aquesta qualitat és fent ús del tractament d'anoditzat.

El procés que s'hi relaciona se centra en els mateixos principis bàsics que regeixen els tractaments d'electrodeposició, però amb una gran diferència: l'anoditzat no pretén dipositar partícules d'un altre metall sobre la superfície de l'alumini, sinó que la seva finalitat és que el mateix alumini desprengui electrons per a combinar-los amb oxigen i així crear òxid d'alumini, fet que permet modificar la seva peculiar capa d'òxid.

Aquest estrat d'alúmina⁴⁶ (Al₂O₃) que ha estat amplificat amb l'ajuda de l'anoditzat és el responsable de què l'alumini adquireixi molt bones propietats aïllants, millori la resistència al desgast i el grau de protecció a la corrosió, entre d'altres (Barrand i Gadeau, 1972, pp. 168-169).

Una de les característiques de l'anoditzat és que pot dotar a l'alumini de porositat superficial. Aquest fenomen permet que s'hi puguin adherir o introduir partícules diverses que confereixen a la superfície certes qualitats, essent d'especial interès en aquesta investigació, les possibilitats que ofereixen aquests porus per a proveir l'alumini de coloracions

46 El punt de fusió de l'alúmina és de 2072 °C i les seves propietats: alta duresa, aïllant elèctric, baix coeficient de dilatació, excel·lent resistència a la corrosió, baix coeficient de fricció, resistència a les altes temperatures; alta conductivitat tèrmica i alta resistència mecànica i química.

Donada la importància d'aquest tractament electrolític per a la recerca en curs ja que aquesta centra el seu estudi en els resultats que mitjançant l'anoditzat i posterior acolorat es poden obtenir en diferents aliatges d'alumini. En el *Capítol 2* s'abordarà de forma més àmplia aquest tractament superficial, prestant especial atenció a les possibilitats de coloració.

Cal puntualitzar que l'alumini no és l'únic metall que es pot anoditzar; el titani, el magnesi i el zenc, entre d'altres, també tenen aquesta propietat encara que els processos i els resultats difereixen dels de l'alumini.

Altres tipus d'acabats

L'alumini accepta molts altres acabats superficials que són comuns en molts d'altres materials, com són el pintat, el lacat i l'esmaltat. Es deixa en mans del lector aprofundir sobre aquests processos que en tot cas mereixen una dedicació específica en una altra investigació sobre l'escultura en alumini.

1.3.2.5_Propietats toxicològiques

La toxicitat és la capacitat intrínseca que posseeix un agent químic de produir efectes adversos sobre un òrgan. Les categories de toxicitat es refereixen a una qualificació arbitrària de les dosis o nivells d'exposició que causen efectes tòxics⁴⁷ (Holmberg, Högberg i Johanson, 2012, pp. 33.3-33.4).

47 Traducció del text original realitzada al català per l'autor de la tesi.

No és d'estranyar, que si l'alumini és el tercer element més abundant de l'escorça terrestre, aquest estigui omnipresent en el nostre ecosistema. Les partícules d'aquest metall es troben en l'aigua potable, en els vegetals i els animals que ens mengem, en certs medicaments i en molts d'altres productes de la nostra vida quotidiana⁴⁸; per tant, inevitablement, aquest es troba en el nostre organisme (Torrellas, 2014; Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2018, pp. 175, 177). Els humans podem assimilar una petita dosi d'aquestes partícules que s'estima en 1 mg/kg de pes corporal⁴⁹ al dia per via oral. Una certa quantitat és expulsada del nostre organisme mitjançant l'orina i els excrements, però si se superen els nivells que el nostre cos pot gestionar, els excedents són absorbits o acumulats, arribant a provocar certes malalties (ATSDR, 2008, pp. 4-5).

En condicions normals, les quantitats absorbides per la ingesta d'aliments i aigua, l'aspiració de partícules i el contacte amb la pell són molt reduïdes (ATSDR, 2008, p. 4). Per aquest motiu, part dels estudis que tracten la toxicologia de l'alumini centren la seva atenció en les possibles malalties pulmonars i en les afeccions del sistema nerviós, derivades de la inhalació de pols⁵⁰ per motius ocupacionals; segons els resultats obtinguts, les afectacions més greus són causades per les partícules de pols i els gasos resultants del conjunt dels processos que acompanyen a aquesta indústria

48 Segons certs estudis (ATSDR, 2018) les olles i els utensilis de cuina conformats amb aquest metall desprenen més o menys alumini depenent de l'acidesa dels ingredients cuinats i el temps de cuinat i per tant, d'exposició (p. 211).

49 NOAEL (No Observed Adverse Effects Level)

50 Aquestes malalties s'engloben sota el terme pneumoconiosis, i segons el tipus de pols que la provoca la malaltia rep un nom o un altre.

i l'activitat portada a terme en les foneries (Nordberg, 2012, p. 3).

La mecanització de l'alumini i els seus aliatges produeix partícules diminutes que poden ser perjudicials per a la salut, provocant des d'una irritació respiratòria a càncer. Certes investigacions adjudiquen la menor producció de pols a les velocitats altes, fet que coincideix com ja hem comentat, amb els paràmetres utilitzats per a una millor efectivitat de tall en l'alumini pur; però, si concretem sobre aquest tema en relació amb els aliatges, es demostra que per culpa de l'augment de la fragilitat i la duresa de l'alumini aliat, la quantitat de partícules de pols augmenta amb la velocitat de tall (Songmene et al, 2011, pp. 384, 387, 390-391). En paràmetres generals, si la velocitat d'avançament i la de tall augmenten a causa de la producció de llimadures més grans i el creixement de les partícules, el nivell de pols disminueix.

Cuervo et al (2001) ens expliquen a quin tipus de pols i dimensions ens referim:

El polvo susceptible de llegar hasta los alveolos pulmonares se le denomina «polvo respirable», que lo definimos como la fracción de la nube total de polvo existente en el ambiente, que es capaz de alcanzar los alveolos pulmonares. Asi [sic] definido y referido a partículas esféricas y de densidad 1, incluye el 98% de las partículas de una micra de diámetro, el 75% de las de 3,5 micrómetros de diámetro, el 50% de las de 5 micrómetros y ninguna de las que tengan un diámetro superior a 7 micrómetros. (p. 20)

Ja des del segle passat, les patologies pulmonars derivades del lloc de

treball han estat motiu d'estudi. La “malaltia de Shaver”, catalogada dins de les malalties professionals de naturalesa respiratòria, fou descrita per Cecil Gordon Shaver el 1948, després de diagnosticar-ne diversos casos durant la Segona Guerra Mundial (Shaver, 1948). Aquesta malaltia era conseqüència de l'aspiració de fums d'òxid d'alumini, sílice cristal·lina i ferro; no se'n detecten casos des de després de la segona meitat del s. XX (Nordberg, 2012, p. 63.3).

La pneumoconiosi que s'associa directament a l'alumini rep el nom d'aluminosis, fibrosi pulmonar que es deriva de la inhalació de pols metàl·lica d'alumini. Cal tenir en compte que, segons l'ATSDR (2008) “when excessive amounts of widely considered benign dusts are persistently retained in the lungs, the resultant lung effects are similar to those observed following exposure to dusts that are highly toxic to the lungs” (p. 16).

Les activitats, relacionades amb el procés de producció i amb les operacions que es porten a terme en les foneries que s'associen a la malaltia de l'aluminosi⁵¹ són les que estan relacionades amb les cubes electrolítiques utilitzades en el procés de Bayer, amb la preparació d'aliatges, amb la manipulació de productes abrasius d'alumini; i amb els treballs que impliquen exposició a la pols i als fums de la soldadura (Martínez i Guzman, 2015; ATSDR, 2008, p. 39).

Les malalties comunament associades a l'alumini de caràcter respiratori són: l'asma ocupacional, la fibrosi pulmonar, la proteïnosi alveolar pulmo-

⁵¹ No confondre amb l'aluminosi, patologia que afecta el formigó, elaborat amb “ciment aluminós” (ciment que en la seva composició té un 40% d'alúmina i un 40% de calç) quan aquest es troba exposat a ambients humits o calorosos.

nar (PAP), la pneumònia intersticial i els granulomes. Per altra banda, en les de caràcter neurotòxic, els efectes són: alteracions en la memòria i en el temps de reacció, incoordinació, problemes de concentració i mal de cap. En tot cas, les proves no són concloents ja que no es tenen dades suficients per a realitzar una associació directa i exclusiva amb els diferents processos de manufactura de l'alumini (ATSDR, 2008, pp. 45-46).

Com hem comentat, alguns dels perills que de vegades s'associen a l'alumini són definits per certs components que poden formar part dels seus aliatges i/o per altres productes que s'empren en el seu procés de metal·lúrgia o de fosa (ATSDR, 2008, p. 39). Un exemple comú n'és la silicosi, fibrosi pulmonar provocada per la inhalació reiterada de partícules de diòxid de sílice (SiO_2) cristal·lí⁵², en les quals s'inclouen els cristalls de quars, la cristobalita i la tridimita; la seva retenció provoca un deteriorament pulmonar i altres afeccions derivades (Parker i Wagner, 2012, pp. 10.48-10.49). En algunes de les activitats relacionades amb la foneria s'utilitza sílice en pols, compostos i abrasius que en contenen; les més comunes són les d'emmotllat i desemmotllat, les de sorrejament i les de desbastat i tall, especialment en les activitats de foneria a la sorra.

Altres malalties que es relacionen amb la inhalació de sílice cristal·lina són la tuberculosi i el càncer de pulmó⁵³.

La prevenció és la clau per a evitar aquest tipus de malalties ja que es tracta de reduir al màxim la quantitat de pols; per tal d'aconseguir-ho és

52 S'entén per estructura cristal·lina aquella que té les partícules (àtoms) ordenades

53 L'Agència Internacional d'Investigació contra el Càncer (IARC) va classificar la sílice cristal·lina com a cancerígena en humans el 1996.

essencial mantenir el lloc de treball net i disposar d'una bona extracció localitzada, emprant com a mínim, la "mascareta autofiltrant" FFP3⁵⁴ sense excedir en el seu ús els períodes indicats per les normes d'utilització que sol ser d'unes 8 hores, després de les quals cal renovar-la. Són també importants les revisions periòdiques, tant dels sistemes d'aspiració (filtres i capacitat) com de la salut del personal exposat.

Per altra banda, hi han malalties que es creuen relacionades amb l'alumini, malgrat que no ha estat científicament demostrat, com és el cas de l'alzheimer. Les investigacions relacionades amb aquest tipus de demència, la més comuna actualment, estan a l'ordre del dia. Alguns estudis, centrats en les afectacions neurotòxiques de l'alumini, han demostrat que la concentració d'aquest en un alt percentatge de cervells afectats amb aquesta malaltia degenerativa, és elevada⁵⁵ (Crappier, Krishnan i Quittkat, 1976; Suay i Ballester, 2002).

54 El tipus de mascareta recomanada a la Foneria UB, on la presència de sílice està prou controlada i l'exposició pot ser ocasional, és la FFP3, però en processos on hi pot haver una concentració important de sílice, superior al disposat en el Reial Decret 1154/2020 de 23 de desembre de 2020 sobre la protecció dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició a agents cancerígens durant el treball (establert en una fracció respirable de sílice cristal·lina de 0,05 mg/m³), cal aplicar mesures més estrictes.

Equipos de protección respiratoria para sílice: La guía HSE indica que se requiere un equipo de protección respiratoria con un APF (factor de protección asignado), de por lo menos 40, por lo que no se recomiendan en ningún caso mascarillas desechables, sino una máscara o semimáscara con filtro de partículas de alta eficacia P3, certificado según el estándar EN143. Las mascarillas desechables solo se recomendarán en entornos concretos de bajo nivel, por ejemplo cuando se limpian escombros o para cribar material de demolición. (Interempresas, 2021, par. 4)

55 Altres metalls com el coure, el zenc i el ferro també s'estan estudiant per la seva possible implicació amb aquesta malaltia.

Recentment, s'ha trobat una íntima connexió entre la ubicació de la proteïna *amiloide-β* i les concentracions d'alumini en el cervell de donants que havien patit la malaltia d'Alzheimer per qüestions hereditàries⁵⁶ (*familial Alzheimer's disease*, [FAD]) (Mold et al, 2020).

⁵⁶ La proteïna *amiloide-β* i la *tau* es creu que tenen un paper molt actiu en aquesta malaltia.

1.3.3_L'alumini i els seus aliatges

L'alumini destaca per la capacitat d'aliar-se amb altres components modificant les seves propietats, per tant, no és d'estranyar que se n'hagin volgut potenciar algunes d'aquestes, i obtenir aliatges molt versàtils.

Els elements més comuns que s'utilitzen per a formular els aliatges d'alumini són el coure, el silici, el magnesi, el manganès i el zinc⁵⁷, essent variable la seva presència en la composició i no superant habitualment, cada un d'ells el 10% en la composició (Davis, 1998b, Aluminum Alloys, par. 1), a excepció dels aliatges al silici destinats a la fosa que tendeixen a superar aquest percentatge.

1.3.3.1_Classificació dels aliatges

1.3.3.1.1_Segons la seva procedència

Una primera classificació dels aliatges d'alumini els agrupa segons la seva procedència en:

- els aliatges de primera fusió, aquells elaborats amb alumini primari també denominat alumini metal·lúrgic, ja que és el que s'extreu directament de l'electròlisi de l'alúmina;
- i els aliatges de segona fusió, aquells que han estat confeccionats amb

⁵⁷ En el coure, el silici, el magnesi i el manganès, la solubilitat en l'alumini és superior al 1%, juntament amb el liti, el germani i la plata; la resta dels elements químics estan per sota del 0,1% (Zolotarevsky et al, 2007, pp. 1-2).

alumini secundari⁵⁸, provinent del reciclatge de les romanalles i de la ferralla d'alumini (Hufnagel, 1992, pp. 215-216).

1.3.3.1.2_Segons el model de transformació

Els aliatges, segons el model de transformació, es classifiquen en dos grups:

- els de forja, formulats per a ser extrusionats i laminats⁵⁹;
- i els de fosa, aquells que han de prestar servei als diferents processos de foneria.

58 Tal com indica Hufnagel (1992):

El aprovechamiento de material viejo y chatarra es económicamente importante. Las aleaciones secundarias obtenidas de estos materiales cubren aproximadamente el 25% de las necesidades totales. En Europa el mayor y más importante campo de aplicación del aluminio secundario, o de las aleaciones de aluminio secundario, es la fundición en molde. (p.18)

Els aliatges de primera fusió contenen menys impureses que els de segona (Kaufman, 2004, p. 7).

59 Tal com defineix de la Poza (1991):

El prensado por extrusión, consiste en forzar el paso del metal caliente a través de una matriz adecuada mediante el empuje de un émbolo.

Recibe el nombre de laminación, la acción de reducir el espesor de un metal por compresión continua, forzando su paso por entre dos cilindros o rodillos de ejes paralelos y que giran en sentido contrario. (pp. 77, 79)

En pocs casos es parla del procés d'embotició; per tant, creiem que és d'interès proporcionar la definició que dona Rossi (1979):

Se puede emplear el término embutido para indicar la operación mediante la cual se somete una chapa bajo la forma de un cuerpo hueco. La operación de embutir consiste, por lo tanto, en transformar una chapa plana de metal laminado en un cuerpo hueco, procediendo gradualmente con una o más pasadas. (p. 66)

Els aliatges de fosa, per tal de ser funcionals, han de poder adaptar-se als processos implícits. La finalitat de l'addició de certs elements a l'alumini pur és la d'acomplir amb dos requeriments de la fosa, en primer lloc els relatius a les accions de fondre i colar, considerant especialment la capacitat d'omplir correctament els motlles i en segon lloc, els adreçats a optimitzar al màxim les qualitats físiques, químiques i mecàniques de l'aliatge obtingut per a transferir-les a l'objecte fos.

En aquesta investigació ens hem centrat en els aliatges de fosa que atenen a la classificació anterior, en la majoria dels casos seleccionats, han estat de segona fusió i de forma minoritària, i per raons que s'exposaran en el seu moment, s'han tractat l'alumini de fosa de primera fusió i de forja provinent de romanalles.

Després d'aquesta primera distinció entre aliatges de forja i aliatges de fosa, els subgrups classifiquen els aliatges segons el seu nombre de components, de manera que els aliatges, si estan formulats per dos, tres, quatre, cinc o més de cinc elements predominants poden ser, respectivament, binaris, ternaris, quaternaris o complexos. En aquest estudi s'utilitzen aliatges que pertocuen a les primeres quatre classificacions més un alumini pur.

Per últim, no hem d'oblidar que l'alumini pur també té la seva pròpia denominació segons el seu grau de puresa (Taula 1.3.1).

Taula 1.3.1		Classificació de l'alumini pur	
Alumini (%)		Designació	
99,50 - 99,79		Puresa comercial	
99,80 - 99,949		Alta puresa	
99,950 - 99,9959		Super puresa	
99,9960 - 99,9990		Puresa extrema	
> 99,9990		Ultra puresa	
<i>Nota.</i> Informació extreta de Murray (1990).			

1.3.3.2_Sistemes de designació

Per a classificar els aliatges d'alumini, com en tots els aliatges, s'utilitzen diferents sistemes d'identificació que permeten designar-los segons el model de transformació i els seus components. Aquestes propostes de normalització poden variar segons el país de comercialització i això pot dur a certa confusió⁶⁰.

60 Segons el reglament de la Unió Europea núm. 102/2012 (2012):

El principal objetivo de la normalización es la definición de especificaciones técnicas o cualitativas voluntarias con las que pueden ser conformes actuales o futuros productos, procesos de producción o servicios. La normalización puede abarcar distintos ámbitos, como la normalización de diferentes calidades o tamaños de un producto determinado o las especificaciones técnicas en mercados de productos o servicios en los que resulta esencial la compatibilidad y la interoperabilidad con otros productos o sistemas. (punt 1)

Per evitar equívocs exposarem tres sistemes de designació dels aliatges: el de l'Aluminum Association (AA), estandarditzada sota la normativa de l'American National Standards Institute (ANSI) que marca els estandards als Estats Units, a la vegada que està reconeguda i emprada en altres països i per tant té caràcter internacional, especialment pel que fa a la designació numèrica dels aliatges de forja⁶¹; la denominació de la Unió Europea, elaborada pel Comitè Europeu de Normalització (CEN) que adopta la mateixa designació numèrica de l'AA en el cas dels aliatges de forja, però que difereix en la designació dels aliatges de fosa (aquesta denominació serà la utilitzada en la present tesi); i en tercer lloc, la norma espanyola (UNE)⁶², que com l'europea, per als aliatges de forja, aplica la designació numèrica de l'AA, però difereix en la dels de fosa⁶³.

1.3.3.2.1_Sistema de designació de l'Aluminum Association

La relació entre la numeració i les famílies d'aliatges d'aquest sistema de designació es resumeix en la Taula 1.3.2, per als aliatges de fosa, i en la Taula 1.3.3 per als de forja. L'assignació dels dígitos, pel que fa als aliatges de fosa, segons la norma H35.1 ANSI (1988) és la que s'explica a continuació:

61 L'Organització Internacional de Designació (International Organization for Standardization [ISO]) reconeix la designació de l'AA, per als aliatges de forja com a sistema internacional.

62 Sigles d'Una Norma Espanyola.

63 Tot i que la norma emprada en aquesta recerca és l'europea a causa de la nacionalitat de procedència d'aquesta investigació, s'ha cregut oportú afegir la norma espanyola.

Taula 1.3.2		Norma Aluminum Association Aliatges de fosa	
Designació numèrica	Element químic principal		
AA 1XX.X	Alumini (Al) ($\geq 99.00\%$)		
AA 2XX.X	Coure (Cu)		
AA 3XX.X	Silici + Coure i/o Magnesi (Si + Cu i/o Mg)		
AA 4XX.X	Silici (Si)		
AA 5XX.X	Magnesi (Mg)		
AA 6XX.X	En desús		
AA 7XX.X	Zenc (Zn)		
AA 8XX.X	Titani		
AA 9XX.X	Altres elements		
Nota. ANSI (1988)			

- La primera xifra indica el grup (la sèrie) de l'aliatge; el primer grup (1XX.X) inclou els aluminis purs que tenen com a mínim un grau de puresa del 99,00 %, mentre que en la resta de grups, aquesta primera xifra fa referència a l'element (o els elements) que predomina després de l'alumini. En el cas de coincidir el percentatge majoritari en més d'un element, el grup a què s'assigna l'aliatge es defineix per l'element coincident en el qual, la seva sèrie, se situa en un primer lloc en l'ordre de la seqüència. Per exemple: si el percentatge de silici (Si) és el mateix que el de coure

Taula 1.3.3		Norma Aluminum Association Aliatges de forja	
Designació numèrica	Element químic principal		
AA 1XXX	Alumini (Al) ($\geq 99.00\%$)		
AA 2XXX	Coure (Cu)		
AA 3XXX	Manganès (Mn)		
AA 4XXX	Silici (Si)		
AA 5XXX	Magnesi (Mg)		
AA 6XXX	Magnesi i Silici (Mg + Si)		
AA 7XXX	Zenc (Zn)		
AA 8XXX	Altres elements		
AA 9XXX	En desús		
Nota. AA (2015)			

(Cu) i aquests dos són els elements predominants, l'aliatge correspon al grup del coure, el 2XX.X.

- El segon i el tercer dígit, identifiquen un aliatge específic de la sèrie; la numeració és arbitrària, per tant, no s'associa a cap element sinó que simplement estableix un ordre numèric, però en tot cas és única per a cada aliatge. Pel que fa a la sèrie 1XX.X, la dels aluminis purs $\geq 99,00\%$, el significat d'aquestes dues xifres difereix del de les altres sèries, tenint una relació directa amb el percentatge decimal de puresa. Per tant, un alumini al 99,50 % serà representat amb la numeració 150.X.
- El número que segueix al punt decimal fa referència a la forma del producte, relacionant el 0 amb els que són de colada i l'1 i el 2 als lingots; els límits dels elements de la composició i les impureses són els que defineixen si s'assigna el número 1 o 2.
- Per últim, s'afegeix davant de la numeració la lletra A, B o C a l'aliatge que ha sofert alguna modificació, per tal de diferenciar-lo de la denominació inicial. El prefix X s'assigna als aliatges experimentals; aquesta lletra serà retirada quan deixi d'estar en la fase de prova i s'incorpori a la designació reglada (Kaufman i Rooy, 2004, p. 8).

Pel que fa als aliatges de forja, els dígits també són quatre però l'últim no es separa pel punt decimal. Segon la mateixa norma, explicada per l'Aluminum Association (2015):

- El primer dígit, té la mateixa funció que en la nomenclatura emprada en els aliatges de fosa, definir el grup de l'aliatge, i per tant, designa l'ele-

ment de la composició que posseeix el percentatge més alt; en el cas de coincidència amb els percentatges de dos components, s'utilitza el mateix sistema d'ordenació. Tanmateix, la sèrie 1XXX pertany als aluminis purs amb un percentatge igual o superior al 99,00 %.

- El segon, indica les modificacions en relació amb l'aliatge original.
- I el tercer i quart dígit, serveixen per a identificar els diferents aliatges de la sèrie; el seu valor és arbitrari.
- En el cas de produir-se una variació en l'aliatge, després de la numeració s'afegeix una lletra, assignant-se per seqüència alfabètica i prenent la A en la primera variació (en aquesta seqüència s'exclouen la I, la O i la Q).

Davant de la numeració resultant de tots dos tipus d'aliatges, fosa i forja, s'afegeix les sigles AA, fent referència a l'Aluminum Association.

1.3.3.2.2_Sistema de designació de la Unió Europea

La norma Europea (Euronorma) EN 1780, que s'exposa en les taules 1.3.4 i 1.3.5, afegeix davant de la designació numèrica les sigles EN (*European Standard*) i en el prefix la lletra A, d'alumini, acompanyada de la lletra B per a designar els lingots per a ser refosos; la C per a peces emmotllades, que no són lingots; la W per als de forja i per últim trobem la M, que corresponen als aliatges mestres⁶⁴ (Mathers, 2002, pp. 36-37).

⁶⁴ Els aliatges mestres s'utilitzen per ajustar, de forma selectiva, la composició dels aliatges, i per a modificar la seva microestructura i per tant, les seves propietats.

Taula 1.3.4		Norma Europea - Aliatges de fosa	
Designació numèrica	Designació simbòlica	Element químic principal	
AB o AC-21XXX	AlCu	Coure (Cu)	
AB o AC-41XXX	AlSiMgTi		
AB o AC-42XXX	AlSi7Mg		
AB o AC-43XXX	AlSi10Mg		
AB o AC-44XXX	AlSi	Silici (Si)	
AB o AC-45XXX	AlSi5Cu		
AB o AC-46XXX	AlSi9Cu		
AB O AC-47XXX	AlSi(Cu)		
AB o AC-48XXX	AlSiCuNiMg		
AB o AC-51XXX	AlMg	Magnesi	
AB o AC-71XXX	AlZnMg	Zenc	

Taula 1.3.5		Norma Europea Aliatges de forja	
Designació numèrica	Element químic principal		
AW-1XXX	Al ≥ 99.00 %		
AW-2XXX	Coure (Cu)		
AW-3XXX	Manganès (Mn)		
AW-4XXX	Silici (Si)		
AW-5XXX	Magnesi (Mg)		
AW-6XXX	Magnesi i Silici (Mg + Si)		
AW-7XXX	Zenc (Zn)		
AW-8XXX	Altres elements		
AW-9XXX	En desús		

L'aliatge, en el cas dels de fosa, s'especifica mitjançant 5 dígits o pels símbols químics. Pel que fa a l'especificació numèrica, segons la European Aluminium association (2002):

- El primer fa referència a l'element predominant, després de l'alumini.
- El segon defineix el grup de l'aliatge, la sèrie.

- El tercer és arbitrari i dona informació sobre la modificació que ha pogut tenir en relació amb la composició genèrica de l'aliatge.

- El quart generalment és 0.

- I el valor del cinquè també és 0, a excepció de quan es tracta d'un aliatge aeroespacial.

I en el cas d'utilitzar símbols:

- Primer de tot s'especifica que és un aliatge d'alumini amb el símbol Al.

- Seguidament s'afegeix el símbol del component que segueix a l'alumini en major percentatge, acompanyat del percentatge de massa.

- I per últim, el símbol de la resta d'elements, com a màxim quatre, en ordre descendent de percentatge de massa; si aquests percentatges són iguals, els components s'ordenen alfabèticament i en el cas d'aliatges amb una composició similar, s'indica el contingut nominal de cada un dels elements o les impureses entre parèntesis.

Pel que fa als aliatges de forja, els dígit compleixen la mateixa funció que en nomenclatura de l'AA, per tant, només s'utilitzen 4 dígit i el seu valor indica:

- En el primer dígit, el grup de l'aliatge que ve determinat per l'element de la composició amb el percentatge de massa més alt després de l'alumini.

- En el segon, la modificació en relació amb l'aliatge original.

- I en el tercer i quart, l'aliatge.

- A propòsit de la sèrie 1XXX, la qual pertany a l'alumini pur $\geq 99,00\%$, també s'aplica la mateixa especificació que l'explicada en la norma ANSI.

En el cas d'emprar símbols, el sistema és el mateix que correspon als aliatges de fosa.

1.3.3.2.3_Sistema de designació espanyol

L'actual normativa espanyola⁶⁵ ha integrat els criteris de la norma europea, per tant el sistema de designació per a aquests aliatges és el mateix.

Tot i que la norma establerta és l'europea, també es pot utilitzar la norma espanyola⁶⁶, així de vegades, usualment en els aliatges de fosa, ens podem trobar en el fet que s'utilitza la designació nacional per aquest motiu, s'aporten les dades d'aquesta designació en les taules 1.3.6 i 1.3.7 i s'expliquen a continuació.

65 La norma UNE-EN 573-1 per als aliatges de forja (Asociación Española de Normalización i Certificación [AENOR], 2005) i l'UNE-EN 1780-1 per als aliatges de fosa (AENOR, 2003).

66 En la norma UNE 38001 (2019), s'especifica:

“En el caso del aluminio, aparte de lo establecido en las Normas UNE-EN 573-1 y UNE-EN 573-2 para productos de forja y las Normas UNE-EN 1780-1 y UNE-EN 1780-2 para refusión, aleaciones madre y piezas moldeadas, también se puede utilizar para el conjunto de las aleaciones ligeras lo que se denomina, en la clasificación general de los materiales, como una clase, la cual se designa por la letra L”. (p. 3)

Taula 1.3.6		Antiga Norma Espanyola Metalls lleugers i aliatges mare
Designació	Codificació	
L-1XXX	Metalls lleugers i aliatges mare	
L-11XX	Alumini (Al)	
L-13XX	Magnesi (Mg)	
L-14XX	Beril·li (Be)	
L-15XX	Titani (Ti)	
L-18XX	Aliatges mare de base alumini	
L-2XXX	Aliatges d'alumini de fosa	
L-3XXX	Aliatges d'alumini per a forja	
L-5XXX	Aliatges de magnesi per a fosa	
L-6XXX	Aliatges de magnesi per a forja	
L-7XXX	Aliatges de titani	
L-9XXX	Aliatges de beril·li	

Segons la norma UNE 38001:2019:

- La designació està constituïda per 4 dígits precedits per la lletra L (del castellà *Ligeros*).

Taula 1.3.7		Antiga Norma Espanyola Aliatges d'alumini de fosa
Designació	Codificació	
L-20XX	Alumini (Al)	
L-21XX	Coure (Cu)	
L-23XX	Magnesi (Mg)	
L-25XX	Silici (Si)	
L-26XX	Silici (Si)	
L-27XX	Zenc (Zn)	
L-28XX	Aliatges varis	
L-29XX	Estany (Sn)	

- Les quatre xifres corresponent a la sèrie, el grup i l'aliatge, respectivament.

- El primer dígit, per als aliatges de fosa, serà el 2 (L-2XXX) i per als de forja, el 3 (L-3XXX). La resta de primeres xifres, de l'1 al 9, corresponen a les altres sèries, relacionades amb la resta de metalls lleugers i aliatges mare.

1.3.3.2.4_Sistema de designació francès

Per últim, farem un breu incís en la nomenclatura francesa, a causa que, per a l'experimentació, s'han utilitzat dos aliatges que han estat subministrats amb aquest sistema de designació⁶⁷.

Aquesta nomenclatura, segons les directrius de la norma francesa A02-001 (1994)⁶⁸ que anomenen Barrant i Gadeau (1968), s'organitza de la següent manera:

- La designació la formen un conjunt de lletres i números, que varia segons l'aliatge.

- Els elements químics que poden formar part d'un aliatge s'identifiquen amb un símbol, que a vegades coincideix amb el símbol de l'element i en d'altres no; aquests són descrits en la Taula 1.3.8.

⁶⁷ Els aliatges han estat el AS9U3 i el AS7U3. Els motius pels quals la designació és en francès s'expliquen en l'apartat 3.1.6_*Alumini i aliatges d'alumini escollits*.

⁶⁸ L'organització francesa, encarregada de l'estandardització en aquest país, és l'Association française de Normalisation (AFNOR).

Taula 1.3.8	Norma Francesa			
	Correspondència entre element químic i símbol			
Elements químic	Símbol	Element químic	Símbol	
Alumini	A	Magnesi	G	
Antimoni	R	Manganès	M	
Beril·li	Be	Níquel	N	
Bor	B	Plom	Pb	
Cadmi	Cd	Silici	S	
Ceri	Ce	Titani	T	
Crom	C	Tungstè	W	
Cobalt	K	Vanadi	V	
Cobre	U	Zenc	Z	
Estany	E	Zirconi	Zr	
Ferro	Fe			

Nota. Barrang i Gadeau (1969, p. 31)

- La primera lletra fa referència al metall base, en aquest cas l'alumini.

- El grup, de lletres i números que segueix a la primera lletra, representen la resta d'elements que conformen l'aliatge; les lletres poden anar acompanyades del seu corresponent percentatge (això no succeeix amb els que no superen l'1 %).

1.2.4_Components dels aliatges

En aquest apartat només s'exposen els components de les sèries d'aliatges que són habitualment utilitzats en la fosa comuna (el coure, el silici, el magnesi i el manganès) i com a excepció s'afegeix el ferro perquè és una impuresa que està present en tots els aliatges.

Puntualitzarem que en un tant per cent adequat, les qualitats que aporten els elements afegits a l'alumini són habitualment beneficioses, però si se sobrepassen els límits establerts, aquests poden operar en detriment de l'aliatge. De la Poza (1991) ens explica:

En aleaciones de aluminio forjable el porcentaje total de elementos de adición rara vez excede de o 7%, pero en las aleaciones de fundición esta proporción puede alcanzar el doble. (p. 25)

Per a entrar en més detall sobre la influència dels percentatges dels materials aliats, s'anima al lector a consultar els diagrames de fases corresponents⁶⁹.

⁶⁹ Es denomina fase, als diferents estats en què poden existir els materials (fase sòlida, líquida o gasosa) mantenint les seves propietats físiques i químiques homogènies (Baker, 1992, p. 1.1). Un material pur només té una fase, però en quant s'alia amb un altre material, pot tenir dues o més fases al mateix temps.

Aquest diagrama és un sistema de coordenades cartesianes on en les ordenades es representa la temperatura (°C o °F) i en les abscisses la composició, el percentatge en pes dels elements de l'aliatge. Aquest sistema bidimensional descriu, a partir de variables termodinàmiques, les diferents fases presents en un aliatge, en funció de la temperatura i la composició química; la composició química de les fases i el percentatge de cada fase que és present en la massa total de l'aliatge. Per tant, serveix de guia per a l'anàlisi i la formulació d'aliatges i per a pronosticar la seva microestructura final (Salán, 2015, p. 59). En la lectura del diagrama de fases es pot interpretar a quina temperatura i amb quins percentatges es

1.3.3.3.1_Coure (Cu)

Els aliatges en els quals el coure n'és l'element aliant primari pertanyen a la sèrie EN AB-21XXX (CEN), tanmateix, en els aliatges de fosa, el coure desenvolupa un paper rellevant en les sèries de la família dels aluminis al silici (AlSi), de les que en forma part com a element secundari.

Amb la finalitat de proporcionar duresa a l'alumini, es realitzen addicions d'aquest metall que van d'un 3 a un 6% en els aliatges més comuns, podent arribar fins a un 12 %, però mai sobrepassar el 15 %; quan el percentatge màxim és superat l'aliatge obtingut és molt dur, però a la vegada es torna fràgil (Salán, 2005, p. 81).

Per tant, la seva gran aportació la trobem en un notori augment en la duresa⁷⁰, que també es manifesta amb una millor maquinabilitat, i en un aspecte industrial molt valorat, que és la resistència a altes temperatures (300 °C) (Davis, 2001, p. 365). A aquestes millores cal sumar-li, que tot i que el coure té la densitat més alta (8,96 g/cm³) dels elements més utilitzats en els aliatges d'alumini, l'augment d'aquesta és poc significativa quan s'utilitzen els percentatges més comuns (3 - 4 %)⁷¹ (Mondolfo, 1976, p. 255), per tant, es formulen aliatges, que tot i tenir coure, segueixen sent

poden obtenir els aliatges eutèctics és a dir, amb el punt de fusió més baix i amb la cristallització més gran.

⁷⁰ Hem d'apuntar que adquireix una duresa elevada i pràctica, per a finalitats industrials, quan se li aplica els corresponents tractaments tèrmics. Alguns d'aquests aliatges poden superar a determinats acers al carboni.

⁷¹ Segons Mondolfo (1976) la densitat de l'alumini augmenta dels 2,7 g/cm³ als 2,79 g/cm³ en els aliatges d'alumini que contenen un 4,2% de coure, sent de 2,92 g/cm³ en els que tenen un 10% (p.255).

lleugers.

Es poden aportar altres elements a la formulació d'aquests aliatges per tal de potenciar, encara més, la seva duresa sense obtenir efectes perjudicials. A manera d'exemple, el 1906 es va experimentar afegint a l'alumini un 4,0 % de Cu, un 0,7 % de Mg, 0,6 % de Mn i 0,6 % de Si, i el resultat va ser, després d'un envelliment natural, un augment de les propietats mecàniques, donant com a resultat el duralumini⁷² (Brunet, 2019, Introduction, par. 1); més endavant, en els anys 30, es va millorar l'aliatge canviant el percentatge de magnesi per 1,5, millorant d'aquesta manera la seva resistència i ductilitat⁷³.

A les qualitats anomenades s'hi han de sumar altres alteracions en les propietats, com l'alta contracció d'un 3 % que es produeix en el refredament⁷⁴; el descens en la conductivitat tèrmica i elèctrica i en la reflectivitat⁷⁵; la baixa col·labilitat i la pèrdua de resistència a la corrosió (Wernick i Pinner, 1966, p. 32; Mondolfo, 1976, pp. 253-554, 256; Kaufman i Rooy, 2004, p. 116; Zolotarevsky, 2007, p. 377).

⁷² La literatura consultada difereix en la composició i els percentatges d'aquest aliatge. De la Poza (1991) la defineix en 4,0 % de coure, 0,5 % de magnesi i 0,5 % de manganès (p. 30), mentre que Barrant i Gadeau (1968) l'hi adjudiquen un 4,0 % de coure, un 0,7 % de magnesi, un 0,5 % de manganès i un 0,5 % de silici (p. 31).

⁷³ El resultat vas ser el *superduralumini*.

⁷⁴ Especificarem que aquesta contracció que pot derivar en esquinçaments i en altres anomalies durant el refredament, varia segons el percentatge de coure de l'aliatge, tenint esforços de tracció més baixos en els quals el seu valor supera l'1 % de coure en pes que en els que el seu percentatge és menor (Armberg, 2008, p. 377).

⁷⁵ Es redueix d'un 83 % en l'alumini pur a entre un 55 % a 25 %, segons el percentatge de coure (Mondolfo, 1976, p. 256).

Les aportacions de silici poden millorar la col·labilitat, però reduir la seva estabilitat tèrmica⁷⁶; mentre que la presència de ferro disminueix la col·labilitat, la plasticitat i la resistència a la fractura⁷⁷ (Zolotarevsky, 2007, p. 377).

La seva soldabilitat, en aliatges que contenen entre un 2 i 4 % de coure és dolenta, però aquesta millora quan s'arriba o se sobrepassa el 6 % (Mathers, 2002, p. 43); són aliatges susceptibles d'esquerdar-se quan solidifiquen (Kaufman i Rooy, 2004, p. 13).

1.3.3.3.2_Silici (Si)

El silici és el segon element més abundant, després de l'oxigen, de l'escorça terrestre en conseqüència, és un material econòmic i molt utilitzat en camps molt diversos, com l'energia fotovoltaica la microelectrònica, el vidre, la ceràmica i les silicones entre d'altres (Martínez, 2011, pp. 8, 14). En alguns processos de fosa com en l'emmotllat amb arena, el silici actua com a element refractari, aportant resistència a les altes temperatures al motlle.

La combinació d'alumini i silici s'ha guanyat un gran prestigi entre els aliatges de fosa ja que aporta fluïdesa al metall; per tant estan dotats de molt bones qualitats per a l'emplenat del motlle (Gil et al., 2001, p. 32; Davis, 2001, p. 364). La col·labilitat és la propietat tecnològica més important d'aquests aliatges de fosa (Glazoff, 2018, p. 415).

⁷⁶ Estabilitat davant de temperatures altes i baixes, de l'estructura i de la composició química.

⁷⁷ El ferro present en l'aliatge és considerat una impuresa (Davis, 2001,p. 365)

Es toleren quantitats elevades de silici que van del 4 al 22% (Glazoff, 2018, p.406).

En relació amb el coeficient d'expansió tèrmica, la contracció que experimenta al solidificar és menor que la del alumini pur i que la resta d'altres grups (Mondolfo, 1976, p. 369; Stoll, 2019, p. 234). Segons Hufnagel (1992) "el coeficiente de dilatación disminuye, por cada % en masa de Si, aproximadamente el 1,2 %" (p. 103).

Una altra qualitat que podem atribuir als aliatges d'alumini que contenen silici i que té una doble lectura és la seva alta resistència al desgast per la duresa de les seves partícules; aquesta particularitat es tradueix en poca pèrdua de material per efecte de l'erosió i per tant de volum; però, aquestes no només són dures sinó que també són abrasives, fet que en dificulta el mecanitzat, provocant un major desgast en les eines i els fungibles (König, 1983, p. 535)

Altres aportacions són la bona soldabilitat, la ductilitat i una característica que es té molt en compte en certes aplicacions com l'aeronàutica com és la tolerància a l'impacte o al dany (Gil et al, 2001, p.32). De Damborenea (2007) ens explica de què es tracta aquesta característica i la seva importància:

Los nuevos materiales metálicos de uso aerospacial [sic] tienen además un reto añadido: la tolerancia al daño. Dicho de otra forma, la capacidad de seguir operando en condiciones de seguridad cuando se ha producido un daño en la estructura. Para entender este concepto hagámonos la siguiente pregunta: ¿qué pasaría si

se produjera una pequeña grieta en un avión con trescientos pasajeros a bordo a 8.000 metros de altitud? Las nuevas aleaciones de aluminio tienen la respuesta: resisten sin romperse. (p. 26)

Per altra banda, la conductivitat tèrmica es redueix entre un 20 i un 30 % i la plasticitat també (Mondolfo, 1976, pp. 370-371).

El silici, ja que forma part dels components de les menes de bauxita, és un element que no es pot eliminar totalment en els aliatges d'alumini. Per tant, és una impuresa que hi està sempre present (Mondolfo, 1976, p. 368; Davis, 2001, p. 388).

Els avenços han evidenciat les propietats beneficioses del silici en els aliatges d'alumini, però no sempre va ser així; sembla que en els inicis de les provatures en formulació d'aliatges, cap al 1856, el silici no era massa ben considerat:

J'ai déjà fait voir l'importance qu'il y avait à obtenir l'aluminium parfaitement pur. Je dois dire, en outre, que le métal aujourd'hui répandu dans le commerce peut contenir soit du fer, soit du silicium, suivant le mode de sa préparation. Ces deux sortes d'impuretés sont nuisibles aux qualités de l'aluminium et on doit tout faire pour en éviter la présence. (Saint-Claire, 1856, p. 44)

Als aliatges d'AlSi se'ls hi sol afegir altres elements per tal de millorar les seves qualitats. Els més comuns són el coure (màx. 4-5 %) i el magnesi, el primer dels quals li aporta duresa i millores en el mecanitzat i el segon, en petites quantitats, possibilita que es puguin tractar tèrmicament per influir

de forma controlada en les seves propietats mecàniques (Davis, 2001, p. 384; Kaufman i Rooy, 2004, p. 13; Glazoff, 2018, p. 408). En canvi, el ferro afecta negativament en les seves qualitats si la seva proporció és major al 0,6 %, dotant-lo de fragilitat i disminuint les seves propietats mecàniques (Gil et al, 2001, p. 34). En el referent a la corrosió, aquests aliatges tenen una resistència mitjana i la combinació amb coure n'augmenta la seva sensibilitat, com també els alts nivells de ferro (Kaufman, 2004, p. 120; Glazoff, 2018, p. 415). En canvi, l'addició de magnesi, millora excepcionalment la seva resistència a la corrosió sense afectar a l'expansió tèrmica de l'aliatge (Kaufman i Rooy, 2004, p. 14).

Els aliatges amb silici es poden modificar⁷⁸ amb sodi, millorant les ja mencionades propietats d'emmotllament; també ajuda el fet que la distribució del silici en l'aliatge sigui dispersa i uniforme, contrarestant l'estructura desequilibrada que adquireix quan s'utilitza per colada (Gil et al, 2001, pp. 33-34; Davis, 2001, pp. 384, 397). Altres elements com el fòsfor són afegits amb la finalitat d'afinar el gra de l'aliatge. A part dels efectes de millora que poden aportar els elements modificadors com el sodi i el fòsfor, també s'ha de tenir en compte que els nivells d'absorció d'hidrogen de l'aliatge augmenten, essent necessari eliminar-lo durant la fosa del metall (Davis, 2001, p. 397).

Un elevat percentatge de silici afecta el color de l'aliatge, conferint-li tonalitats griseses, valorades o menyspreades depenent de la seva possible aplicació. Com a curiositat olfactiva, l'alumini per sí mateix no té cap olor

⁷⁸ Brown (1999) ens explica molt breument què significa modificar un aliatge: Changing the chemical composition to alter the microstructure (p.79).

(inodor), però quan se li afegix silici adquireix una aroma similar al del ferro.

Els aliatges ternaris i quaternaris més comuns que tenen el silici com a element predominant i les seves característiques principals són tal com ens exposen Kaufman i Rooy (2004, pp. 17-18), els següents:

- Els aliatges AlSiCu ofereixen bona col·labilitat i en comparació amb les de AlSi, tenen més força i duresa, es mecanitzen millor i estan dotades de menor ductilitat i resistència a la corrosió.
- Els aliatges d'AlSiMg tenen bona col·labilitat i resistència a la corrosió.
- Els aliatges AlSiCuMg no tenen tanta bona col·labilitat com els aliatges AlSi; mantenen l'excel·lent força i duresa que aporta el coure i pateixen una reducció en la ductilitat i en la resistència a la corrosió que propicia el magnesi.

David (2001) constata que aquests aliatges (ternaris i quaternaris) són utilitzats en aproximadament, el 90% de les peces foses (p. 354).

1.3.3.3.3_Magnesi (Mg)

El Magnesi es caracteritza per ser un metall dur però poc tenaç; és un metall amb unes propietats mecàniques molt baixes. Sol, no és vàlid per a usar en funcions estructurals, té una plasticitat baixa. Sembla ser doncs que la unió dels dos metalls en un aliatge fa que combinin les propietats bones de l'un i de l'altre per tal d'obtenir un aliatge rígid i dur, per part del

magnesi, però a la vegada tenaç pel que fa a l'alumini. En percentatges baixos ja es fa evident l'augment en la duresa de l'aliatge (Gil et al, 2001, p. 34). Aquesta addició de magnesi, per tal de proporcionar duresa a l'alumini, ve habitualment acompanyada de petites quantitats de manganès.

El magnesi es troba en els aliatges comercials d'alumini entre un 0,5 % i un 12 o 13 % (Mondolfo, 1976, p. 806), essent les composicions més comunes les que contenen entre un 4 i 10 % de magnesi en pes⁷⁹ (Barrand i Gadeau, 1968, p. 37; Kaufman i Rooy, 2004, p. 15).

Se li afegix silici perquè tingui millor fluïdesa, qualitat escassa en percentatges de magnesi d'entre el 2 i el 4 %, però s'ha de tenir en compte que el silici aporta fragilitat a l'aliatge i manganès o crom per a corregir el efecte corrosiu del ferro. Les impureses de silici i de ferro en aquests aliatges solen ser menors (Mondolfo, 1976, pp. 806, 813).

El color del magnesi és molt similar al de l'alumini, blanc platejat, però la seva densitat és menor (1,738 g/cm³). Dels elements que s'utilitzen per a aliar l'alumini és el que té la densitat més baixa; per tant els aliatges de AlMg són més lleugers que l'alumini.

El magnesi té bona mal·leabilitat en calent, entre 300 i 475 °C, però per davall d'aquesta temperatura és trencadís i per damunt, pot arribar a inflamar-se (Nordberg, 2012, p. 63.24). Per tant, la fosa i el mecanitzat del

⁷⁹ Els autors difereixen en els percentatges més comuns; Campbell (2015) per exemple, especifica els aliatges més comuns entre un 5 i 6% del pes i el percentatge màxim en un 10% en pes (p. 236).

magnesi comporta riscos d'explosió. Un cop aliat amb l'alumini els riscos d'explosió i deflagració desapareixen, però segueix essent perillosa l'acumulació de partícules de pols metàl·lica ja que els dos metalls estan sota el risc de combustió.

En el caldo del metall fos, és propens a oxidar-se i a reaccionar amb els materials refractaris del gresol i del motlle, però un cop el metall s'ha solidificat, li confereix a l'aliatge una resistència a la corrosió excel·lent. Aquests aliatges responen molt bé en ambients marins i enfront de la corrosió alcalina suau (Mondolfo, 1976, pp. 315, 813; Kaufman i Rooy, 2004, pp. 14, 120).

Els aliatges amb magnesi ofereixen un acabat molt atractiu un cop s'han polit, ja que permet obtenir una superfície molt reflectant i per tant brillant i són molt aptes per als anoditzats decoratius (Mondolfo, 1976, p. 314 i 819; Kaufman i Rooy, 2004, p.14), dotant a les peces de colors uniformes i vius⁸⁰.

Els aliatges AlMg tenen molt bona soldabilitat i bona maquinabilitat, sobretot els que tenen un alt contingut en magnesi (Kaufman i Rooy, 2004, p. 14; Mondolfo, 1976, p.312, 819). També ofereixen una excel·lent ductilitat, molt per damunt dels aliatges AlSi (Campbell, 2015, p. 236).

1.3.3.3.4_Manganès (Mn).

No existeixen els aliatges de fosa de la sèrie alumini-manganès, però sí

⁸⁰ Els aliatges d'aquesta sèrie s'utilitzen molt en elements decoratius i arquitectònics.

que estan presents en els de forja (3XXX), encara que de forma reduïda. El motiu ve donat pel baix percentatge permès, no supera el 1,5%, d'addició de manganès pel fet que, després de la quantitat indicada, la temperatura de fusió augmenta molt ràpidament; la seva addició en la conformació de l'aliatge s'ha de realitzar a una temperatura elevada, ja que la solubilitat disminueix a mesura que baixa la temperatura (Gil et al, 2001, p. 37).

Aquests aliatges permeten una addició de manganès, de forma efectiva, molt reduïda, per aquesta raó sols es pot aprofitar en un 20 % la qualitat d'incrementar la resistència de l'alumini, obtenint una duresa de grau mitja i bona capacitat per a ser treballats; també se solden fàcilment i són inerts químicament.

Com a element compostiu en aliatges ternaris, quaternaris o complexos és comú trobar-lo en els aliatges de fosa, aportant una bona resistència mecànica i mal·leabilitat i potenciant el quocient anticorrosiu; redueix la resistivitat elèctrica i augmenta la resistència mecànica i també és utilitzat per a corregir l'efecte fragilitzant del ferro que pugui contenir l'aliatge (Mondolfo, 1976, p. 324; Taylor, 2004, par. 19).

1.3.3.3.5_Ferro (Fe)

El ferro no constitueix cap sèrie, però es pot dir que es troba present en tots els aliatges d'alumini és la impuresa més comuna (Davis, 2001, pp. 379, 387). En els de fosa és un element no desitjat. En els aliatges de segona fusió, a causa de la seva procedència i als múltiples cicles de refosa als que poden haver estat sotmesos, els percentatges en són més elevats que en els de primera que rondan entre el 0,03 % i el 0,15 %. No es coneix

cap recurs, econòmicament viable que permeti eliminar-lo. Per tant, s'ha d'assumir com a part integrant del combinat i intentar evitar augmentar-ne els nivells (Taylor, 2004, par. 1-6; Campbell, 2015, p. 236).

El contingut de ferro altera negativament el conjunt de les propietats de l'alumini i dels seus aliatges. En els aliatges de AlSi el ferro en redueix la ductilitat i per tant, la seva resistència a la tracció, mentre que la porositat augmenta (Mbuya, Odera i Ng'ang'a, 2003; Taylor, 2004, par. 11, 21).

Capítol 2_L'anoditzat i acolorat de l'alumini

El capítol 2 aporta una informació bàsica sobre el tractament superficial de l'anoditzat aplicat als aluminis i el seu posterior acolorat.

S'exposen les nocions fonamentals sobre aquest tractament electrolític i es recull la informació aportada per diferents autors relativa als diversos processos i a les variables que hi intervenen, les tipologies d'anoditzats, així com les repercussions dels diferents tipus d'aluminis en l'aplicació d'aquest tractament i les possibilitats que ofereix d'acolorat.

Aquesta documentació és indispensable per entendre les bases de l'experimentació que s'ha dut a terme en la segona part del 3r capítol (3.2 *Metodologia de l'anoditzat*). Per aquests motius, tot i aportar aspectes generals, certs apartats s'han orientat al recull de la informació sobre els procediments i materials utilitzats en la present recerca (aluminis de fosa, anoditzats amb àcid sulfúric, acolorats per impregnació i pigments).

Coincidint amb altres capítols de la present investigació, la informació i les referències consultades estan vinculades al món industrial; aquestes han estat rellevants en la recerca en curs, tot i que hem treballat sense perdre de vista que la mateixa experiència investigadora serà la que ens donarà les dades més fiables per aplicar l'anoditzat i el seu acolorat en la fosa artística.

Com es veurà en l'apartat corresponent (3.2.3. *Proves realitzades en el laboratori de la Foneria UB*), s'ha fet un esforç d'adequació d'infraestructures i processos a partir de la informació esmentada; per aquesta raó

hem hagut de partir dels estudis realitzats amb anterioritat, plantejant-nos quins són els aspectes fonamentals d'aquests que ens permeten la seva adaptació a les circumstàncies concretes dels nostres tallers. El recull de les fonts d'aquests aspectes fonamentals són els que exposem en aquest capítol.

2.1_ Les coloracions en els metalls. Processos de coloració

Les coloracions que es poden obtenir en els metalls, segons Runfola (2015), es divideixen en dos grups: les coloracions “reactives” i les “no reactives” (o additives) (p. 45). Les primeres, les reactives, són aquelles que es produeixen mitjançant la reacció química del metall; bàsicament, oxidacions naturals o artificials, totes dues conegudes com pàtines¹; segons el tipus de metall, la incidència dels agents atmosfèrics o del procés d'aplicació s'obtenen coloracions i matisos diferents (Kipper, 1995, pp. 15-16, 220-221). Les segones, les no reactives, es fonamenten en l'aplicació de color a partir de pigments i tints; és a dir, de substàncies que són portadores de color que actuen independentment del metall al qual s'apliquen (Hughes i Rowe, 1991, p. 45; Runfola, 2015, p. 45).

En les pàtines artificials, aplicades en l'àmbit de l'escultura i de la decoració en general, es poden distingir dues modalitats: les pàtines artificials produïdes per la reacció d'oxidació del metall base/compositiu, després d'aplicar sobre la superfície un reactiu; i les pàtines artificials, derivades de la reacció oxidant de les partícules que configuren el producte aplicat sobre la superfície del metall.

Entre les no reactives que volen simular les pàtines i les reactives basades en l'oxidació del producte afegit, podem trobar un nexa d'unió argu-

¹ Les oxidacions poden ser provocades en fred o en calent, mitjançant l'aplicació de químics o de forma natural quan els agents atmosfèrics intervenen (pàtina natural).

mentat per la pertinença intrínseca del color als seus respectius agents i no al metall al qual s'apliquen; per tant, podríem definir-les com a “efecte patina” o “pàtines falses”.

Cal remarcar que tots els metalls accepten, millor o pitjor, l'acolorat a partir de processos no reactius, podent aplicar una extensa gamma cromàtica; per altra banda, els processos reactius es veuen limitats al tipus de metall utilitzat, essent el coure i el ferro i la combinació dels mateixos en diferents aliatges (bronze, llautó, acer...), els que ofereixen un ventall més ampli de possibilitats cromàtiques.

En el camp artístic anomenarem “pàtines” a les coloracions reactives en relació amb les pàtines aplicades a l'escultura, generalment en bronze; sobre aquest aliatge, les oxidacions aporten un ventall molt ric d'opcions, de les quals se'n pot trobar excel·lent documentació². No és així en el cas de l'alumini que es tracta d'un metall que es troba molt limitat pel que fa a les coloracions reactives, oferint com a resultat de l'aplicació superficial dels químics bàsicament, grisos i negres. Es podria dir que la gran majoria dels aliatges d'alumini no es poden patinar de la manera tradicional³

2 Llibres com el “The Colouring, Bronzing and Patination of Metals” de Hughes i Rowe (1991), el “Patinas for Silicon Bronze” de Kipper (1995) o el “Contemporary Patination” de Young (2000), ofereixen un ampli repertori de possibilitats en aquest camp.

3 La composició de l'aliatge és un factor important. Segons estudis paral·lels que s'estan duent a terme pel mateix autor d'aquesta tesi, hi ha aliatges d'alumini que són susceptibles de ser patinats. Per altra banda, seguint amb la idea que els components dels aliatges d'alumini influeixen en les possibilitats cromàtiques a partir de l'oxidació d'aquests, l'enginyer Leddon, en la seva publicació de 1931, exposava aquesta fórmula:

Pátina parda para el aluminio. Pulidos y desgrasados los objetos, se les sumerge en una disolución al 1 por 100 de amoníaco, añadiendo o no sales amoniacales, como el cloruro, acetato o sulfuro. Hácese durar esa inmersión un tiempo que va-

(Runfola, 2015, pp. 134-143). Si observem el desenvolupament industrial d'aquest metall, podem comprovar com aquesta pràctica no té aplicació; malgrat tot, d'altres sí.

D'altra banda, tenim les coloracions no reactives; és en aquests tipus de processos on l'alumini ha evolucionat i destaca. L'alumini té un gran potencial quant a coloracions afegides, gràcies a la qualitat de ser anoditzat que permet, mitjançant diferents sistemes, dotar-lo de color, mantenint superficialment, l'aparença del metall⁴.

ría entre una y tres horas, según la pureza del metal y la intensidad del tono que se desee obtener. Los tonos que toma el aluminio sucesivamente son el amarillo, pardo y gris azulado. El metal tratado de este modo resistirá mejor la acción de los distintos agentes químicos o físicos. El procedimiento solo es aplicable al aluminio impuro, pues la coloración la dan el hierro, el silicio y otras impurezas que resisten a la acción del amoníaco, mientras que se disuelve la capa superficial del aluminio. (p. 134)

4 En els casos en els quals el color és aplicat en les seves tonalitats més fosques, l'aparença del metall pot arribar a desaparèixer; en les mostres i les escultures realitzades en l'apartat 3.2-*L'experimentació amb l'anoditzat i els pigments. L'anoditzat artístic*, s'identifica la influència del comportament de la coloració en l'aspecte superficial de l'alumini.

2.2_ Les coloracions en l'alumini anoditzat

L'alumini s'oxida, però aquesta oxidació dona una gamma cromàtica molt limitada, centrant-se en les tonalitats grises, per tant, no té res a veure amb les possibilitats que ofereix l'oxidació del ferro i molt menys amb les del coure (Runfola, 2015, p. 136).

Però, si sortim dels processos que utilitzen l'oxidació de forma directa per a dotar de color al metall (les pàtines), l'alumini i els seus aliatges ofereixen, mitjançant l'anoditzat⁵, un ventall d'opcions que permeten dotar-lo de varietats cromàtiques sense perdre'l de vista.

Això és possible gràcies al fet que durant el procés d'anoditzat, en la superfície de l'alumini, es creen uns porus microscòpics susceptibles de ser emplenats. Si el que es pretén és donar color, s'haurà d'introduir en

⁵ L'anoditzat és un recurs que ofereix múltiples possibilitats. És habitual que s'utilitzin les seves propietats poroses per a donar més consistència a certs recobriments de color com són els pintats.

L'alumini disposa d'un gran avantatge sobre altres materials que són considerats més nobles i tradicionals. La possibilitat d'aplicar color sobre la seva superfície mai ha estat qüestionada; els seus orígens industrials l'hi han donat la llibertat necessària per a ser pintat, lacat, esmaltat, acolorat o cobert amb qualsevol altre material que millores les seves qualitats, tot el contrari d'altres materials de tradició escultòrica, com el marbre i el bronze, que han estat tema de controvèrsia quan el seu aspecte "natural" ha estat ocultat.

El debat sobre aquest tema va estar servit quan al segle XVIII, la passió per les obres clàssiques va tenir un gran ressorgiment (neoclassicisme) impulsat per les noves troballes arqueològiques; el color en l'escultura antiga va ser un tema d'estudi que tenia als seus detractors, partidaris de l'acabat despulat de l'elegant i pur marbre blanc i els defensors que, a partir de les evidències i els estudis, proclamaven la seva naturalesa policromada (Hägele, 2013, pp. 2-4).

aquesta superfície porosa aquells elements que ens el proporcionin, com per exemple els pigments.

La superfície anoditzada ha d'estar dotada de certes propietats per a poder obtenir un acolorat concret; Wernick (1966) enumera aquestes propietats:

- 1) Que el recubrimiento tenga el espesor adecuado; este espesor varía con el tono del color; así, los de tonalidad oscura exigen espesores más gruesos.
- 2) Que la película sea suficientemente porosa y absorbente.
- 3) Que el recubrimiento tenga por sí mismo un color adecuado.
- 4) Que esté libre de defectos superficiales como grietas, rayas, poros, etc., y que al mismo tiempo no presente variaciones en su estructura metalográfica, ya sea en el tamaño de los granos [sic] o por presentar segregaciones. (p. 370)

En realitat, els condicionants abasten des de l'alumini seleccionat, la qualitat de la fosa i els acabats mecànics aplicats, fins a les propietats obtingudes amb el procés d'anoditzat i les característiques de l'acoloriment; per tant, es tracta d'un entramat complex de múltiples variables.

Un cop obtinguda la superfície porosa a partir de l'anoditzat, els mètodes de coloració són essencialment els següents: la coloració integral, l'electrocoloració, la seva variant, la coloració per interferència i l'acolorat per impregnació (vegeu l'apartat 2.5.2_ *Anoditzats de protecció i decoratius*).

En la present investigació ens hem centrat exclusivament en les possibilitats que ofereix el mètode d'acolorat per impregnació. Aquest mitjà és

relativament senzill d'aplicar gràcies als mecanismes bàsics d'actuació per a dur a terme el procés, a la vegada que ofereix un ampli ventall de possibilitats cromàtiques. La resta d'opcions, també interessants, requereixen altres investigacions per adaptar-les a la vessant artística.

En poques paraules, el mètode d'impregnació essencial consisteix en la immersió de la peça prèviament anoditzada i per tant, dotada de la consegüent capa porosa, en un bany que conté aigua i partícules colorants. Aquestes partícules són les que s'introdueixen en els porus generats per l'anoditzat, produint-se una impregnació⁶ que dota de color l'aspecte superficial de l'alumini.

⁶ En aquest cas, utilitzem el terme "impregnar" en el sentit exposat pel Gran Diccionari de la Llengua Catalana (s.d.): "introduir, entre les partícules d'una substància, partícules d'una altra" (definició 1).

2.3_Principis bàsics de l'anoditzat

L'alumini produeix per si mateix una capa natural d'òxid d'alumini (Al_2O_3) que el protegeix dels agents externs⁷. Aquesta pel·lícula és molt prima (entre 0,001 i 0,0025 μm)⁸, essent insuficient per acomplir amb la seva funció protectora en certs medis (Díaz et al, 2019, p. 2; Hunter i Fowle, 1956, p. 482).

Encara que el seu gruix és ínfim, l'oxidació és molt persistent i quan se li executa una modificació extractiva en la seva superfície (tall, polit...), que deixa al descobert el metall en contacte amb l'atmosfera, aquesta capa torna a proliferar, generant el que s'anomena com "autocuració". Un altre aspecte a tenir en compte és que la capa (o capes)⁹ d'òxid de l'alumini està unida al metall, per tant, en circumstàncies normals no es desprèn (Kaufman, 2005, p. 95).

Aquesta peculiaritat oxidativa de l'alumini ha donat pas al desenvolupament de l'anoditzat, tractament superficial fonamentat en ampliar i modificar aquest recurs espontani. Per aconseguir-ho, s'ha potenciat de manera artificial, la capa d'òxid natural de l'alumini. Amb aquest procés s'acon-

7 Quan la capa d'òxid que es forma per efectes de la corrosió, arriba a un límit de creixement i bloqueja el pas de l'oxigen cap al substrat metàl·lic, parlem d'òxid protector (Carranza, 2010, p.31). Aquest fenomen s'anomena passivació.

8 Les variables en el gruix de la pel·lícula d'oxidació natural dependran dels factors atmosfèrics a què estigui exposada.

9 Més endavant, en l'apartat 2.3.3_*Oxidació anòdica*, es donaran detalls a partir de la literatura relacionada amb el tema, sobre la formació i distribució de les capes/pel·lícules/recobriments d'aquest òxid.

segueix augmentar-ne la protecció i/o la possibilitat d'aplicar-li aspectes decoratius.

Per entendre com funciona l'anoditzat, hem de tenir clar quin és el seu funcionament i quines variables participen; aquestes es defineixen en els pròxims apartats.

2.3.1_Anoditzat, ànode i càtode

L'anoditzat és un procés electrolític que té la finalitat de produir una reacció química utilitzant un corrent elèctric extern¹⁰.

Aquesta reacció provocada en l'anoditzat pertany a les reaccions redox (reducció-oxidació); en aquests tipus de fenòmens químics es transfereixen electrons: hi ha un element que els dona, agent reductor i un altre que els rep, agent oxidant.

Com que la finalitat és la d'ampliar la capa d'alúmina, l'alumini actuarà d'agent reductor; serà l'element de la reacció que s'oxidarà. Per tant, si el nostre propòsit és incidir en aquest aspecte, l'alumini haurà d'estar connectat al pol positiu del circuit elèctric, realitzant la funció d'ànode. D'aquí el nom d'aquest procés.

Per altra banda, en el pol negatiu es connecta l'agent oxidant, el càtode, essent una pràctica habitual utilitzar-ne més d'un¹¹.

En l'anoditzat de l'alumini, els càtodes de plom i d'alumini són els més utilitzats (Henley, 1982, p. 3), però també en podem trobar d'acer inoxidable, grafit, níquel, coure o estany. Els requisits indispensables perquè un material pugui ser utilitzat com a càtode en qualsevol procés electrolític

¹⁰ A la inversa, podem utilitzar una reacció química per a obtenir un corrent elèctric; en aquest cas, l'ànode seria el pol negatiu.

¹¹ És habitual haver d'utilitzar més d'un càtode a causa de les dimensions i la morfologia de la peça a anoditzar.

són: que tingui conductivitat elèctrica i que sigui químicament inert; és a dir, que no provoqui reacció química en el bany electrolític (Pancorbo, 2011, p. 401).

2.3.2_Electròlit

El tanc, també anomenat “cuba”¹², on es practicarà l'anoditzat, s'omple d'una solució d'àcid en aigua desionitzada o destil·lada; aquesta dissolució és conductora i rep el nom d'electròlit. Aquest medi líquid conté ions lliures, àtoms o conjunts d'àtoms (molècules), que permeten que es pugui comportar com un conductor amb la capacitat de transportar càrrega elèctrica d'un elèctrode a un altre. Dins del bany electrolític, que proporciona l'electròlit, se submergeix la peça o les peces d'alumini a anoditzar, actuant com a elèctrode positiu o ànode i el càtode o elèctrode negatiu. L'electròlit és l'encarregat de tancar el circuit elèctric connectant els dos pols. El conjunt format pel tanc, els elèctrodes, l'electròlit i la font d'energia, constitueix el que s'anomena cel·la electrolítica.

Els electròlits més comuns en l'anoditzat estan elaborats a partir d'aigua destil·lada i àcids: sulfúric, cròmic, oxàlic, bòric i tartàric. Depenent de la finalitat de l'anoditzat se seleccionaran els components àcids del bany, tenint en compte que si el que es pretén és desenvolupar una capa porosa, l'electròlit haurà de propiciar una acció solvent sobre l'ànode (Henley, 1982, p. 4).

Més endavant entrarem en detall a analitzar les variables en la composició dels banys, els paràmetres de treball i la seva aptitud per assolir certs objectius, però en tot cas cal destacar que en l'anoditzat, al tractar-se d'un procés corrosiu, l'aigua és el component electroactiu; és a dir, que és el que permet la circulació d'electrons (Runge, 2018) i per tant, ha d'estar

¹² Nom comú utilitzat en l'argot professional de l'anoditzat que se li dona als recipients que s'utilitzen en aquest procés.

present en tots els possibles electròlits.

2.3.3_Oxidació anòdica

Des del descobriment de l'anoditzat, inspirat en l'oxidació natural de l'alumini, els investigadors han intentat, amb els recursos tècnics de cada època¹³, desxifrar com es desenvolupen les diferents etapes d'aquest procés.

Els llibres escrits per Wernick i Pinner (1966), Brace i Sheasby (1979) i Hufnagel (1992), en la segona meitat del segle XX, realitzen una revisió exhaustiva de les investigacions que es dugueren a terme sobre l'anoditzat i proporcionen una descripció fonamental, que serà vital per a començar a entendre què succeeix en aquest procés. A la vegada, amb els articles més actuals de Brace (2009; 2010), el llibre que escrigué Runge (2018) sobre la metal·lúrgia de l'anodització de l'alumini i les aportacions d'altres autors, també extensament documentats basats en el model de formació-nucleació de Csokan (1980), aportarem matisos i especificacions al model elemental que ens ajudaran a entendre amb més profunditat certs fenòmens de la formació de l'òxid anòdic d'alúmina (*anodic aluminium oxide* [AAO]).

2.3.3.1_Model bàsic

La primera reacció que es produeix en activar el procés d'anoditzat, no és diferent de l'oxidació natural de l'alumini: la creació d'una capa d'alúmina en la superfície d'aquest metall¹⁴.

¹³ Els avenços en la microscòpia han estat essencials per a progressar en aquest camp d'estudi.

¹⁴ Val la pena assenyalar que en el cas de l'oxidació natural, la funció d'electròlit és assumida pels factors atmosfèrics.

Degut a l'aplicació d'electricitat en un medi adequat (cel·la electrolítica), es produeix una dissolució anòdica (Runge, 2018, p. 249) que permet un creixement accelerat d'aquesta primera capa d'òxid.

El procés químic és el següent: l'electricitat activa la dissociació de l'electròlit, disgregant les seves molècules en cations d'hidrogen (H^+) i en anions d'oxigen (O^{2-}) i d'hidròxid (OH^-). L'hidrogen es dirigeix cap al càtode i l'hidròxid i l'oxigen cap a l'ànode (Ling i Li, 2015, pp. 10-12). En el mateix moment, l'alumini (ànode) emet cations (Al^{+3}), que a causa de la polarització, s'acumulen en la superfície del metall, combinant-se amb l'oxigen de l'hidròxid per a formar òxid d'alumini (Al_2O_3).

La capa d'òxid (alúmina) va creixent i una gran part de l'hidrogen que es genera en l'electròlit i en la interfície de l'electròlit-òxid, es dirigeix cap al(s) càtode(s), on es converteix en gas d'hidrogen i s'allibera, mentre que el restant és expulsat directament cap a la superfície (Ling i Li, 2015, p. 12; Runge, 2018, pp. 283-284).

A mesura que l'òxid es va desenvolupant va consumint el substrat del metall fins que arriba un moment que s'estabilitza; la "capa barrera", així és com se l'anomena, és prima i compacta i té propietats dielèctriques; és a dir, que dificulta el flux del corrent.

En les concavitats de la superfície irregular d'aquesta capa és on el grau de conductivitat és més elevat (Ling i Li, 2015, p. 5); és en aquestes concavitats on es comencen a desenvolupar uns petits porus, gràcies als quals es segueix produint òxid, fet que permet que aquests creixin i formin tubs, canals de porus (Cheng i Ngan, 2015, p. 33). Per tant, un cop aques-

ta capa barrera d'alúmina anhidra¹⁵ ha adquirit el gruix que li pertoca¹⁶, es desenvolupen en la seva part externa, uns porus que van creixent perpendiculars a la superfície, transformant-la (Brace, 2009, p. 27).

Mentre es produeix aquesta conversió, la capa, per una banda, va perdent volum com a resultat de l'evolució del porus i per l'altra, va guanyant-ne en direcció a l'interior de la peça, fet que l'hi possibilita mantenir una espessor constant (González, 1984, p. 464). Henley (1982) narra de forma senzilla i esclaridora el procés que sofreix la capa barrera, "(...) which is continuously formed and transformed into the porous form during the process" (p. 5).

En el procés de creixement dels porus, aquests es van autoordenant, conformant una superfície de cel·les estructurals, sent els porus la seva part central. Aquestes cel·les, en un principi són cilíndriques; tanmateix, degut a la influència dels porus, posteriorment adopten una forma hexagonal¹⁷. La formació que constitueixen els porus i cel·les s'anomena "capa porosa".

El creixement de l'òxid d'alumini anòdic té un límit; per tant, la profunditat que poden adquirir els porus també. La dissolució dels porus evoluciona i al mateix temps, el gruix de la capa barrera es manté constant, però en el

15 Que no conté aigua.

16 Aquest gruix vindrà definit per les modificacions en les diferents variables del procés.

17 Runge (2014) ens explica el perquè de la forma adoptada: "Los núcleos de óxido se convierten en una red de copos hidratados y cargados que se inciden mutuamente, estableciendo la estructura básica hexagonal que es termodinámicamente de menor energía" (p. 5).

moment que la capa porosa adquireix unes dimensions “X”, determinades pels valors utilitzats en les variables del procés, el mateix òxid, creat durant l'anoditzat per impedir que el corrent elèctric continui actuant, atura la reacció (Hufnagel, 1992, p. 742; Runge, 2018, p. 278). En altres paraules, quan es trenca l'equilibri dinàmic¹⁸ que permet que dues reaccions oposades, en aquest cas la de dissolució i la de formació, es mantinguin constants; s'atura el procés (Ling i Li, 2015, p. 5).

Un cop ha acabat el procés, s'obté una superfície de protecció contra l'abradió i la corrosió i amb propietats aïllants que, depenent de les variables seleccionades, serà compacta o porosa, essent la superfície porosa la que és d'interès per a la present investigació.

2.3.3.2_Aportacions al model bàsic

Capa barrera

Brace (2009) posa en dubte la teoria sobre l'entitat de la capa barrera, argumentant que aquesta no existeix com a tal, definint-la com “a transition zone between the metal and the anodic oxide film” (p. 29), en lloc d'una capa¹⁹.

En aquest model que ens planteja, recolzat per investigadors anteriors i contemporanis (Csokan, 1980; Runge, 2018), l'oxidació que es produeix

¹⁸ L'equilibri dinàmic, en el cas de l'anoditzat, és l'estat en el qual el creixement de la capa d'alúmina porosa i el gruix de la capa barrera es mantenen constants.

¹⁹ Runge (2018) defineix el gruix de la capa barrera com “the oxide thickness at the base of the pore” (p. 117).

en la superfície de l'alumini, no és homogènia²⁰. Com a possibles causes s'assenyalen tres factors:

- Les zones del substrat més afins a oxidar-se que d'altres; per tant, centres de nucleació en els quals l'òxid es desenvolupa de forma més activa.
- Les vacants, defectes puntuals provocats per la carència d'àtoms (Morral et al, 1982, p. 471).
- I la presència de zones de baixa oxidació, derivades de les partícules intermetàl·liques solubles i insolubles en l'electròlit.

Aquests factors, promotors del creixement discontinu de l'òxid i en conseqüència, causants de propiciar una oxidació heterogènia que afectarà directament a la capa barrera i a la creació dels porus, venen determinats per l'aliatge utilitzat i/o possibles impureses per defectes estructurals del metall i per l'acabat superficial (Brace, 2009, p. 28; Runge, 2014, p. 2; Runge, 2018, p. 282).

Els primers a reaccionar són els nuclis propensos a oxidar-se, evolucionant en totes les direccions, creixent prioritàriament cap als laterals, propagant-se per l'àrea de la superfície, però també cap a l'interior del metall i cap a fora, ampliant el volum. Un cop s'ha produït l'expansió dels diferents nuclis d'òxid, fins a arribar a connectar-se entre ells recobrint tota la superfície, la capa barrera s'estabilitza. La variabilitat de les dimensions dels nuclis i de la seva expansió es tradueix en una capa d'òxid irregular (Brace, 2009, p. 27; Runge, 2018, pp. 254-256).

²⁰ El model KHR definia el creixement de la capa barrera com a homogeni.

Tot i les seves propietats aïllants, la capa barrera és semiconductora; és a dir, que un cop formada, segueix deixant passar l'electricitat, mantenint la continuïtat del circuit i possibilitant la creació de la capa porosa.

Capa porosa

Un cop la capa barrera s'ha estabilitzat en el seu creixement horitzontal (recobriments de la superfície), el seu creixement només evoluciona verticalment (recobriments de gruix) i la capa porosa comença créixer; ara són els porus els que faciliten la connexió elèctrica, possibilitant per una banda, la conversió de l'alumini en alumina, interfície metall-òxid i per l'altra, que l'alumina vagi nodrint la formació del porus, interfície òxid-electròlit (Hufnagel, 1992, p. 741; Ling, 2015, p.5).

La teoria centrada en la dissolució de l'òxid dels porus va ser desenvolupada per primera vegada per Keller, Hunter i Robinson (KHR) el 1953; el model KHR, exposa la forma geomètrica dels porus únicament com a hexagonals i la seva evolució com a contínua i homogènia (Wernick i Pinner, 1966, p. 269; Kikuchi et al, 2015, p. 4).

Sobre la pauta associada al model KHR, Csokan (1972) ja en discrepava el 1972 (p. 247) i Brace (2009), quasi quatre dècades després, l'ha qualificat d'enganyosa (p. 26).

Les teories sobre els mecanismes de formació d'aquestes cel·les difereixen en els factors que influeixen en la seva creació i en el seu desenvolupament i en conseqüència, en l'exclusivitat de la cel·la hexagonal. Teories recents expliquen la formació dels porus com un fenomen propiciat pel creixement i el moviment de l'òxid i no com una dissolució afavorida per

l'electròlit (Brace, 2009, p. 28; Runge, 2014, p. 5)

Per altra banda, sembla ser que la morfologia ordenada i les dimensions de les cel·les hexagonals, no és una característica constant en el conjunt de la capa porosa, depenent aquesta autoordenació de condicions molt específiques en l'anoditzat (Csokan, 1972, p. 247; Vega, 2012, pp. 54, 62).

Segons Brace (2019), l'electròlit utilitzat, l'alumini o aliatge escollit (composició) i la seva estructura superficial, condicionaran la formació de les cel·les, proporcionant en alguns casos, segons les variables seleccionades, formacions de cel·les poligonals irregulars amb una clara hegemonia de les formes hexagonals, però també amb la presència de formes pentagonals i d'altres (p. 24).

Per tant, en una superfície ideal, d'un metall ideal (100 % pur) i amb una cel·la electrolítica adequada, la formació de les cel·les i dels porus seria homogènia, però en la majoria de casos, utilitzarem aliatges d'alumini dotats d'una microestructura superficial irregular, amb defectes i tractaments (Runge, 2018, pp. 268-269); per tant, no és d'estranyar que aquestes formacions, a causa de defectes superficials i a alteracions en les variables, puguin patir inclinacions i ramificacions (Brace, 2010, p. 29; Cheng i Ngan, 2015, p. 33). Ling i Li (2015) exposen que, de vegades, la superfície exterior dels porus pot mostrar-se ordenada mentre que la part interna, la de contacte amb la capa barrera, pot estar desordenada (p. 13).

Segons estudis relacionats amb processos d'anoditzat en dues etapes²¹, en electròlits d'àcid sulfúric i oxàlic, els porus s'aproximen a una organització hexagonal, mentre que els anoditzats amb fosfòric, presenten porus desordenats i amb formes variades (Friedman et al, 2007, p. 5).

En relació amb les dimensions finals de la peça anoditzada, Julve (1993) ens explica:

Las dimensiones de la pieza permanecen prácticamente inalteradas al final del proceso, aunque ha sustituido una parte de sí misma por una capa de óxido, de características físicas, químicas y mecánicas muy distintas. (p. 9)

Contradient aquesta afirmació, tenint en compte que tots els anoditzats no tenen el mateix gruix, Ling i Li (2015) aporten el següent càlcul: que un 40 % de la membrana creix per damunt del volum del substrat original i que un 60 % creix per sota (p. 3).

2.4 Variables que intervenen en la cel·la electrolítica de l'anoditzat

La diversitat de processos que participen de la fosa (aliatges, motlles, fosa i colada, acabats i tractaments superficials), generen una interdependència determinant en les característiques finals de la superfície anoditzada.

El conjunt de totes aquestes variables defineix la qualitat de la superfície i de la capa porosa resultant, oferint múltiples possibilitats d'acolorat.

Csokan (1972), en relació a la creació dels porus de la capa barrera, posa l'accent tant en les variables dels tipus d'aluminis com en les de la cel·la electrolítica. (p. 254).

Per tal d'aconseguir un primer control sobre l'anoditzat, Hufnagel (1992) ens apunta tres variables fonamentals que poden definir les característiques de l'òxid d'alumini anòdic: la densitat de la corrent, la temperatura i l'electròlit (p. 742).

21 S'anomena anoditzat en dues etapes a la peça tractada dues vegades mitjançant un primer anoditzat, una posterior eliminació controlada de part de la capa d'alúmina obtingut, habitualment amb sosa càustica (NaOH) i finalment, es practica un segon anoditzar. Aquest és un procés que s'utilitza per aconseguir nanoporus ordenats (Masuda i Fukuda, 1995, pp. 1466-1468).

2.4.1_El corrent elèctric

L'oxidació natural que es produeix en l'alumini se serveix del potencial químic²² present en l'atmosfera per a formar-se. En l'anoditzat, el potencial químic s'amplifica mitjançant un corrent elèctric que, entre altres coses, accelera el procés d'oxidació (Runge, 2018, p. 253).

El valor del flux de càrrega elèctrica ve designat per la densitat i la tensió.

La densitat de corrent (j) és la càrrega elèctrica, la qual és mesurada en amperes (A) per unitat d'àrea (m^2) i és l'encarregada d'activar la superfície que volem anoditzar.

Aquesta densitat actuarà en les diferents zones d'acció:

- La "densitat de corrent d'intercanvi" és la que es desenvolupa en la interfície alumini-òxid. Aquesta densitat variarà segons l'aliatge emprat, el procés de fosa i el resultat obtingut en aquest, ja que es veurà afectada directament per la qualitat superficial de la peça (Runge, 2018, p. 283).
- La "densitat de corrent límit" és la que es produeix en la interfície òxid-electròlit. És l'encarregada de tancar el circuit. Per tant, la de realitzar la connexió amb el càtode. En aquesta densitat influiran l'electròlit seleccionat i la seva composició (Runge, 2018, p. 283).

La tensió, que es mesura en volts (V), és la responsable d'aportar la intensitat necessària al corrent elèctric de la cel·la electrolítica.

22 El potencial químic està format pel potencia termodinàmic i el de reducció.

Comportaments i efectes en l'anoditzat

La formació de l'òxid d'alumini anòdic durant el procés, provoca que el flux de corrent minvi, a causa del constant creixement de l'òxid, creant inestabilitat en el circuit; per a controlar aquest fenomen i obtenir els resultats desitjats, és necessari decidir quina de les dues magnituds, densitat o tensió, es mantindrà constant.

Les dues variables influiran en les característiques de la nucleació de l'òxid de la capa barrera i en la seva geometria, així com en la formació dels porus. Tant si ens regim pel valor de la tensió com pel de la densitat, aquest serà inversament proporcional al gruix de corrosió de l'alumini i proporcional a la velocitat de creació de l'òxid.

Un valor baix en el voltatge o en la tensió proporcionarà una oxidació lenta i el resultat obtingut serà una pel·lícula gruixuda i uns porus petits i estrets; en canvi, quan el valor és alt, l'oxidació serà ràpida, derivant en una pel·lícula prima i uns porus grans i amples (Cheng i Ngan, 2015, p. 34; Kikuchi et al, 2015, p. 4; Runge, 2018, p. 289).

Tot i que és possible anoditzar prenent com a referència el voltatge, aplicant una tensió constant al circuit d'anoditzat, aquest no seria el millor sistema, segons Grubbs (1999); la següent analogia, explicada pel mateix autor que relaciona l'accelerador d'un automòbil i el seu controlador de creuer, amb el voltatge i l'amperatge respectivament, il·lustra de forma senzilla què succeeix quan s'opta per mantenir la densitat constant:

As you are aware, when using cruise control on your automobile,

you set the desired speed (amperage). You then allow the accelerator pedal (voltage) to accelerate or decelerate as needed to maintain this speed. This is the same thing that happens in an anodizing tank. The voltage will fluctuate according to the needs of the system being anodized, while maintaining the required amperage. Bath temperature, acid concentration, aluminum content, aluminum alloy, temper, and many other variables will change the voltage necessary to give you a good, consistent anodic oxide. (p. 71)

A més a més, Runge (2018) argumenta que si el voltatge és constant, es propicia el creixement de l'oxidació en aquelles zones en què l'alumini hi és més present, provocant en les irregularitats superficials de la peça (presència d'altres elements de l'aliatge, inclusions²³...), una proliferació irregular; si pel contrari, la densitat del corrent és fixa, les irregularitats superficials es compensen i el creixement és homogeni, gràcies al fet que s'afavoreix la polarització elèctrica²⁴ (pp. 158-159).

Per tant, els estudis semblen indicar que centrar el control del flux de l'electricitat en el voltatge no és el millor sistema per a obtenir el control de l'operació. Així doncs, serà recomanable mantenir constant la densitat, ja que aquesta marcarà la quantitat d'electricitat que aplicarem al circuit, mentre que el voltatge fluctuarà la seva intensitat per a mantenir-la constant.

Alguns dels avantatges d'un amperatge constant són: l'obtenció d'un òxid

²³ Les inclusions es tracten en l'apartat 3.1.7.3_*Inclusions*.

²⁴ Per "polarització elèctrica" ens referim a l'orientació i alineació de les molècules.

d'alumini anòdic resistent a l'abradió; la reducció en el temps dedicat al procés i el control de la durada del procés en relació amb el gruix de l'AAO desitjat²⁵ (Grubb, 1999, p. 71). Per altra banda, s'ha de tenir precaució en el valor que se li atorga, ja que una densitat alta pot provocar un elevat estrès residual²⁶ sobre l'estructura d'òxid, alterant les seves característiques i la seva funcionalitat, traduint-se, de vegades, en un esponjament o fins i tot en un despreniment de l'AAO, com també en el "cremat" de la peça²⁷, mentre que amb una densitat baixa, l'estrès residual és menor (Brace, 2002, pp. 67-68; Runge, 2018, pp. 267, 276-277, 289; Short, 2003, p. 65; Qualanod, 2015).

25 Si es decideix que la densitat del corrent és la constant, és possible calcular l'amperatge i la durada del tractament utilitzant la "Regla 720" o la "Regla 320" (vegeu l'apartat 2.6.2.2_Anoditzat).

26 Falles provocades per la tensió o la compressió en el procés de formació de l'estructura d'AAO.

27 El "cremat" s'identifica per l'aparició de zones més brillants envoltades d'una zona fosca.

2.4.2_El control de la temperatura

En tot procés que hi ha intercanvi de ions es produeix un augment de temperatura. En altres paraules, segons el primer principi de la termodinàmica, si hi ha treball, transferència d'energia en un sistema, es produeix calor.

En el sistema de la cel·la electrolítica, podem localitzar dos focus de temperatura que intervenen en el procés: la temperatura de l'electròlit i la de la zona d'acció entre l'ànode i l'electròlit (Julve, 1993, p. 12; Aerts et al, 2007, p. 7316).

Segons les directrius de Qualanod (2020):

La temperatura del electrolito de anodización es el factor más crítico para la calidad de la capa anódica. Las temperaturas excesivas derivadas de un control insuficiente, una escasa agitación o un enganche de mala calidad son la causa de la mayoría de los problemas de calidad de anodizado. (p. 42)

Aquests problemes de qualitat es veuen reflectits en l'alteració de les propietats mecàniques, en el descens de la duresa i la resistència al desgast i en modificacions en la capa porosa (Aerts et al, 2007, p. 7310, 7312; González, 1984, p. 471).

En les investigacions d'Aerts *et al* (2007, p. 7314) els porus resultants en alumini de 99,5 % de puresa, en un electròlit d'àcid sulfúric a baixes temperatures (5 °C), resultaren ser petits i amb unes parets gruixudes, mentre

que a altes temperatures (35-55 °C), mostraven un diàmetre més gran en la superfície i parets primes, arribant aquestes a dissoldre's en alguns punts.

Un increment per damunt de la temperatura recomanada, prop o en el mateix ànode, pot suposar la formació d'una capa purulenta i el seu possible posterior despreniment, com també el cremat en algunes zones. En canvi, una temperatura baixa, per sota de l'aconsellada, no afecta d'una manera tan negativa a la formació de la capa porosa, però alenteix excessivament el procés (Short, 2003, p. 65 ; Wernick i Pinner, 1966, p. 305).

Els factors que influeixen de forma directa en la temperatura, a més a més de la temperatura ambient, són la concentració del bany electrolític i l'amperatge utilitzat. Un electròlit més concentrat serà més conductor, per tant oferirà menys resistència, fet que es traduirà en menys temperatura i a la inversa; a menys concentració, més temperatura, mentre que una densitat de corrent elevada produirà excessiva calor (Runge, 2018, pp. 271-272).

Donat que aquest fenomen pot alterar els resultats, es controla l'electròlisi supervisant amb molta cura l'increment de la temperatura que es produeix en la cel·la electrolítica, mesurant-la amb un termòmetre, instal·lant els mitjans adequats per a dissipar-la i reduir-la, com per exemple un agitador i/o un equip de refrigeració (vegeu l'apartat 2.6.2.1_Infraestructura) i assegurant la bona connexió de l'ànode amb el circuit elèctric (Qualanod, 2020).

Segons Julve (1993), la temperatura recomanada en un bany electrolític d'àcid sulfúric és d'entre 18 i 22 °C; en el bany d'àcid cròmic i d'oxàlic,

entre 20 i 35 °C i en el d'oxàlic més sulfúric, entre 20 i 30 °C (pp. 13-14); Brace i Sheasby (1979) aconsellen mantenir la temperatura dins d'un marge molt reduït d'uns ± 1 °C (p. 100).

2.4.3_La regulació del pH

El pH és un sistema de mesura que reflecteix la concentració d'hidrogen en una solució²⁸ i que permet classificar-la en àcida, quan el seu valor en l'escala de pH se situa entre 0 i 6; neutra, quan aquest és 7 o bàsica (o alcalina), si es troba entre el 8 i el 14.

En el diagrama de Pourbaix²⁹ de l'alumini (Figura 2.1) es pot veure la representació gràfica del comportament, equilibri o transformació d'aquest metall, segons l'activitat del potencial de voltatge³⁰ i el pH. Aquest comportament es relaciona amb tres estats, que en el diagrama s'identifiquen com: la regió d'immunitat, on les condicions afavoreixen que l'alumini no es corroeixi; la regió passiva, en la qual l'alumini es recobreix d'una capa d'òxid compacta o porosa que l'aïlla, totalment o parcialment, protegint-lo del progrés de la corrosió i la de corrosió, on l'alumini és sensible a aquesta reacció (Chaussin i Hilly, 1975, p. 278).

El procés d'anoditzat no és eficient en un electròlit neutre (aigua destil·lada) si es pretén que hi hagi un intercanvi d'ions, que propiciï l'oxidació en l'ànode; els electròlits més comuns i eficients són els que tenen un pH

28 Proposat per Sören Sørensen el 1909 (Granner, D. *et al*, 2013, p. 11) . Aquest mètode segueix sent el més comú avui en dia.

29 Són també coneguts com a diagrames Eh-pH i diagrames potencial-pH; aquestes gràfiques ajuden a predir el comportament d'un metall sota condicions termodinàmiques estàndards.

Cal tenir present que aquest diagrama es basa en un líquid ideal, a una temperatura ideal (25°C) i un metall ideal (pur) (Vargel, 2004, p. 98).

30 Respecte a l'"elèctrode estàndard d'hidrogen" (SHE).

àcid.

Quan una dissolució és àcida, vol dir que és capaç de cedir ions d'hidrogen (H^+), ja que en té concentracions elevades; en canvi, una dissolució bàsica es caracteritza per la seva capacitat de rebre ions d'hidrogen (H^+) perquè la concentració d'aquests és baixa.

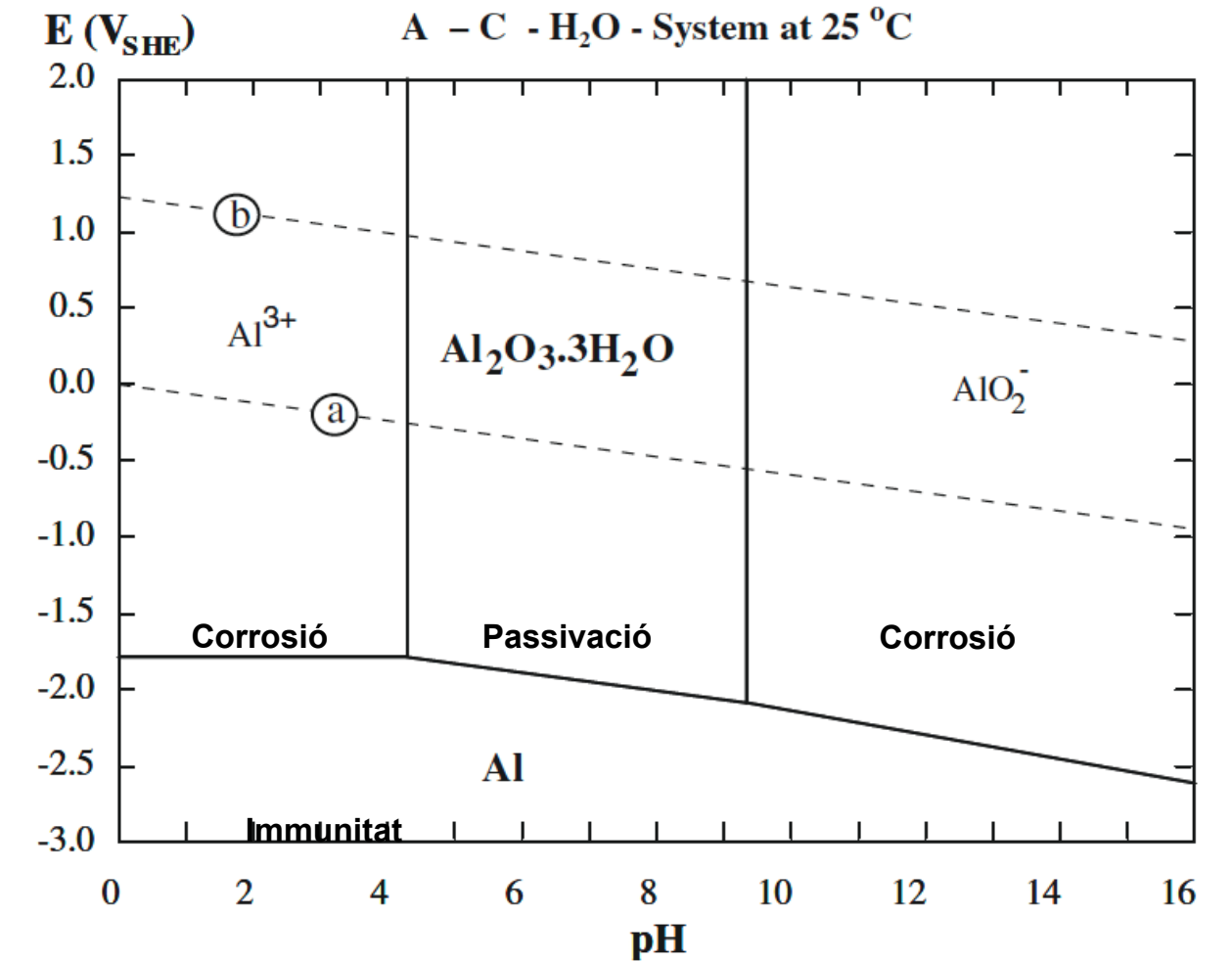
Segons el diagrama (Figura 2.1), l'alumini es corroeix en medis amb pH menors de 4,45 aproximadament; és a dir, que en aquests valors l'alumini sofreix dissolució, proporcionant ions Al^{3+} , els quals es combinen amb l'oxigen per a crear òxid d'alumini (Al_2O_3). Aquest és el primer pas cap a la passivació; un cop el pH augmenta, motivat per l'increment de la temperatura i de la densitat o la tensió aplicades, situant-se entre l'interval de 4,5 i 8,38, es forma la capa passiva mitjançant la combinació amb hidròxid (OH^-), proporcionant hidròxid d'alumini $Al(OH)_3$, en primera instància Bayerita [$Al_2O_3 \cdot 3H_2O = Al(OH)_3 + H$] i després boehmita [$Al_2O_3 \cdot H_2O = Al(OH)_3 + H$] (Gabe, 1975, pp. 138-139).

Per altra banda, si el pH augmenta en excés, entre 8,38 i 14 i se supera el flux de corrent recomanat en relació amb l'electròlit utilitzat, la capa d'òxid es descompondrà massa sovint, a causa de l'alta concentració d'ions oxidants (Friedman et al, 2007, p. 5).

El pH variarà a causa de l'augment de la temperatura i el desgast de l'electròlit. En conseqüència, el pH del bany influirà en la formació de l'òxid (Brace, 2010, p. 29) i vindrà donat inicialment, per la composició de l'electròlit i posteriorment, serà modificat pel valor de la temperatura resultant de les reaccions provocades pel corrent elèctric aplicat.

Figura 2.1

Diagrama de Pourbaix de l'alumini.



Nota. https://www.researchgate.net/figure/Pourbaix-diagram-of-aluminium-in-the-presence-of-067-activity-of-Cl-21_fig6_310100009. Ellen Synnøve Skilbred ©.

2.4.4_ La mesura del temps

Aquest és un factor important perquè tant el defecte com l'excés de temps van en detriment dels resultats; poc temps podria ser insuficient per aconseguir l'anoditzat que es pretén, però arriba un moment en què per més temps que se li doni al procés l'anoditzat, ja no evoluciona més. Julve (1993) apunta que:

Respecto al crecimiento de la película de óxido, cabe indicar que existe un límite. [...] llegando un momento en el que por largo que sea el tiempo de exposición de la pieza en el electrolito, la película de óxido no crecerá más. Es decir, que se ha establecido un equilibrio entre la capacidad de la corriente eléctrica para continuar transportando los iones aluminio a través de las capas para formar óxido "fresco" y la tendencia del electrolito ácido (por ejemplo ácido sulfúrico) para disolverlo (p. 12).

Totes les variables del procés afecten el temps d'anoditzat: la temperatura elevada o baixa; la densitat de la corrent i el voltatge; la composició de l'electròlit; el pH; etc. però, si es tenen controlades, serà possible establir la durada del procés mantenint constant l'amperatge del circuit (vegeu l'apartat 2.6.2.2_ *Anoditzat*).

Un altre aspecte important, destacat per Grubbs (1999), és la velocitat amb què se subministra a la cel·la electrolítica el corrent desitjat; l'ascens d'aquesta rampa, si és molt lent, pot oferir oxidacions toves amb porus

molt oberts³¹; en canvi, si és molt ràpid, es corre el risc de cremar la peça (p. 72).

31 En el cas que es vulgui acolorar, els porus molt oberts doten la superfície de la peça d'un gran poder d'absorció, però en el moment de realitzar l'esbandit i el segellat, es corre el risc que el colorant es lixivii.

2.4.5_La composició i concentració de l'electròlit

L'electròlit pot tenir diverses composicions, cada una adaptada a unes finalitats concretes; aquestes variacions en els components i en les concentracions defineixen, juntament amb les altres variables, l'estructura de l'anoditzat i l'eficiència del tractament (Runge, 2018, pp. 283-284).

Com es podrà observar en les dades aportades a continuació, la majoria de referències consultades, tot i que sembla que els anoditzats en els quals s'estableix com a constant la densitat elèctrica permeten un millor control del procés, s'expressen amb volts³².

Electròlit d'àcid sulfúric.

L'electròlit més utilitzat en l'actualitat per a l'anoditzat de l'alumini és el d'àcid sulfúric (H₂SO₄) (Eloxal GS)³³. Aquest, a més a més d'oferir un recobriments incolor i translúcid de fàcil coloració que el fa ideal per obtenir superfícies anoditzades reflectores, té un cost reduït que repercuteix en

32 Cal tenir en compte que el valor dels voltatges que s'indiquen en els diferents electròlits són definits per la seva conductivitat i el seu pH.

Segons F. Fuertes (comunicació personal, 27 de setembre de 2021), és habitual que, quan es treballa amb peces amb superfícies variades, a causa de la dificultat de calcular les condicions de treball, s'utilitzi un voltatge constant, essent l'amperatge el que fluctuï. Per altra banda, si les peces tractades són sempre similars, val la pena fer els càlculs necessaris per a aplicar un amperatge constant, ja que les condicions de treball no variaran entre càrregues.

33 Wernick (1966) "... en Europa el procedimiento del ácido sulfúrico se conoce con el nombre de Eloxal GS" (pàg. 244). Eloxal GS- Procés d'anoditzat amb àcid sulfúric (electròlit) i corrent continu.

l'abaratiment del procés (Grubb, 2007, p. 397; Kikuchi et al, 2015, pp. 5, 561; Wernick i Pinner, 1966, p. 304).

Les concentracions més habituals estan entre el 5 i 20 % p/p d'àcid sulfúric en aigua destil·lada³⁴, proporcionant una dissolució lenta però un atapeïment de la capa barrera molt elevat. En concentracions altes (35-65 %) no s'observen millores qualitatives ni quantitatives i en concentracions molt elevades (90-100 %), s'observa una caiguda en picat del gruix de la capa i de la tensió necessària per a anoditzar³⁵ (Wernick i Pinner, 1966, pp. 257-258).

El voltatge habitual en els processos d'anoditzat amb aquest electròlit és relativament baix, d'entre 15 i 40 V i el gruix de l'anoditzat pot arribar fins a les 35 µm (Henley, 1982, p. 17; Kikuchi et al, 2015, p. 5).

Les dimensions dels porus en un procés controlat són petites, podent-se obtenir cel·les auto-ordenades aplicant un voltatge d'entre 19 i 25 V i realitzant un procés d'anoditzat en dues etapes o utilitzant una plantilla³⁶ (Kikuchi et al, 2015, pp. 5, 10).

³⁴ El símbol de percentatge (%), acompanyat de "p/p", ve a ser el percentatge "pes" a "pes" i indica el pes del solut per cada 100 unitats del pes de la dissolució.

³⁵ Les directrius de la marca Qualanod (2020) ratifiquen la concentració del 20% (200 g/l) de H₂SO₄ com la més efectiva per a obtenir els estàndards de qualitat i considera innecessari el consum més elevat d'àcid p. 41).

³⁶ Anoditzat en dues etapes: 1) s'anoditza la peça; 2) es realitza una dissolució selectiva en CrO₃/H₃PO₄, obtenint una plantilla sobre la superfície de l'alumini; 3) i per últim, es torna a anoditzar (Kikuchi, 2015, p. 10; Yang, 2017, p. 2-3).

Una plantilla és un segell amb un dibuix perfectament ordenat, que s'estampa sobre la superfície abans d'anoditzar (els segells tenen un preu elevat) (Kikuchi, 2015, p. 10).

El càtode que s'utilitza més habitualment en aquests banys és de plom (Gabe, 1975, p. 132).

Electròlit d'àcid oxàlic

El que conté àcid oxàlic (C₂H₂O₄), entre un 4 i un 8 % p/p, es caracteritza per proporcionar pel·lícules dures i molt resistents al desgast, dotades d'una coloració groguenca o blanca que s'enfosqueix a mesura que l'anoditzat augmenta (Henley, 1982, p. 18; Yang et al, 2017, p. 3).

El voltatge utilitzat és d'entre 20 i 65 V. Les AAO més ordenades s'obtenen amb aquest electròlit realitzant un anoditzat típic, però també es poden obtenir, aplicant un voltatge de 40 V, en un procés d'anoditzat en dues etapes o utilitzant una plantilla (Ling i Li, 2015, p. 14; Kikuchi et al, 2015, pp. 7-10).

Electròlit d'àcid sulfúric-oxàlic

Segons Julve (1993), l'àcid sulfúric amb oxàlic (de 50 a 80 g/l ambdós) recull les propietats del sulfúric més les qualitats que li aporta l'oxàlic, permetent anoditzar a més alta temperatura (30 °C) sense córrer el perill que la capa d'òxid es desprengui (p. 14).

Les directrius de Qualanod (2019) dissenteixen sobre la concentració aconsellada per Julve (1993), recomanant la mateixa concentració d'àcid sulfúric que en l'electròlit en què només hi és present aquest àcid (200 g/l) i un 7 % (7 g/l) d'àcid oxàlic, essent insuficient un percentatge més baix i innecessari un percentatge que sobrepassi el 15 % (pp. 38-39).

González (1984) posa en valor la premissa energètica a l'hora de formular l'electròlit: “desde el punto de vista energético, la concentración conveniente para llevar a cabo la electrolisis es aquella en la que el electrólito ofrece menos resistencia al paso de la corriente eléctrica” (p. 470).

Electròlit d'àcid cròmic

El d'àcid cròmic ($H_2Cr_2O_4$) en una dissolució d'entre el 6 i el 10 % p/p, proporciona anoditzats primis i menys durs, poc porosos i lleugerament acolorits, depenent de l'aliatge, d'un gris clar a un gris obscur; és molt apte per a posteriors recobriments orgànics (pintura) i les peces d'alumini anoditzades amb aquest electròlit no pateixen alteracions significatives en les seves dimensions. També és molt reclamat en l'àmbit industrial per la seva alta resistència a la corrosió (González, 1984, p. 469; Henley, 1982, p. 18).

El voltatge utilitzat és d'entre 20 i 50 V, els porus obtinguts són ramificats i les cel·les no tenen un creixement hexagonal (Kikuchi et al, 2015, p. 6).

És comú utilitzar càtodes d'acer inoxidable en aquests banys (Gabe, 1975, p.131).

Electròlit d'àcid fosfòric

La qualitat més destacable d'aquest electròlit és la grandària del porus que s'aconsegueix, sent de diàmetre molt superior als obtinguts amb l'àcid sulfúric (Henley, 1982 p. 18).

Aquest tipus de banys treballen entre 60 i 195 V i les pel·lícules obtingudes

adquireixen unes tonalitats blavoses clares; es poden obtenir cel·les autordenades utilitzant un voltatge d'entre 160 i 195 V en anoditzats dobles (Kikuchi, 2015, pp. 6, 9).

Altres electròlits

Podem trobar altres electròlits com el que utilitza àcid bòric (H_3BO_3) o àcid tartàric ($C_4H_6O_6$) que es caracteritzen per no ser dissolvents, proporcionant capes d'anoditzat molt fines i impermeables (Henley, 1982, p. 19).

Amb l'addició d'àcid sulfúric, aquests àcids són una alternativa a l'electròlit d'àcid cròmic, essent el tartàric més sulfúric, una opció més ecològica³⁷.

³⁷ L'àcid bòric i el triòxid de crom (CrO_3 , Crom VI) són substàncies prohibides pel seu impacte en la salut humana i el medi ambient (Avalos, 2014, p. 13).

2.4.6_El tipus de càtode

Es pot elegir entre diferents tipus de materials perquè facin la funció de càtode, essent primordial que siguin “inatacables” pel procés. Els més comuns són d'alumini o de plom, però també se'n poden utilitzar de carboni (grafit) o d'acer inoxidable (SS)³⁸. En el cas que es decideixi que la cubeta sigui d'acer afinat, tota ella pot funcionar com a càtode; només cal connectar-la al pol negatiu³⁹ (Wernick i Pinner 1966, p. 296; Grubbs, 2012, p. 466).

Dins de la varietat de càtodes que es té a disposició, les directrius de la marca de qualitat Qualanod (2020) recomanen que siguin d'alumini (p. 42). El motiu pel qual Charles Grubbs (2007) també els recomana, en comparació amb els de plom i de SS, és el següent: “Almost all new installations are using aluminum cathodes because of their ability to reduce the energy requirements of the process” (p. 398). Per tant, una millor conductivitat (l'alumini en té un 60 %, el plom un 9 % i el SS un 4,5 %) ⁴⁰ es tradueix en una repercussió directa en el consum energètic⁴¹ i en l'escalfament del bany; un altre aspecte a tenir en compte, si substitueix al plom, és que s'eliminen del procés les partícules de metall pesant i tòxic que aquest diposita en l'electròlit.

38 Sigles dels grafemes inicials de “Stainless Steel”.

39 Aquesta opció pot portar problemes, ja que la relació dimensional entre càtode i l'ànode difícilment coincidirà amb la requerida i amb el temps, la cubeta, pot arribar a perforar-se.

40 La International Annealed Copper Standard (IACS), creada el 1913, és la norma que classifica el coure recuit comercial pur com a 100 % conductor a 20 °C. A partir d'aquesta premissa s'assignen la resta de percentatges dels diferents metalls.

41 Es pot arribar a estalviar entre 2 i 3 volts en la potència.

Els aliatges d'alumini que es recomanen per al correcte funcionament dels càtodes són el 6063 i el 6101, amb els tractaments T6 o T5⁴². S'aconsella que aquests siguin d'una sola peça⁴³ o soldats amb fil de l'aliatge 5356 (Grubbs, 2007, p. 398). En el cas d'utilitzar plom, no hi ha especificacions concretes; per tant s'aconsella que sigui de la màxima puresa.

Pel que fa a les dimensions del càtode, la marca Qualanod (2020) contempla que la ràtio càtode/ànode ha d'estar en el rang de 1:1,5 a 1:2,5 en relació amb les seves superfícies⁴⁴ (p. 42); si s'amplia el marge d'aquests paràmetres, es pot arribar a treballar amb un quocient mínim de 1:1 i màxim de 1:4 (F. Fuertes, comunicació personal, 7 d'octubre de 2019)⁴⁵. Segons Grubbs (2007), en càtodes d'alumini, la millor relació seria 1:3 (p. 398).

Es recomana que en la posició vertical (Y), el càtode o els càtodes, no excedeixin l'allargada de l'ànode; potser l'expressió més adequada en la situació d'immersió dels dos elèctrodes seria mantenir una paritat en la profunditat d'ambdós. En el cas de les dimensions horitzontals (X), s'aconsella que no sobrepassin en excés les dimensions de la o les peces a anoditzar. Grubbs (2007) expressa les possibles conseqüències de l'abús en la magnitud dels càtodes de la següent manera⁴⁶:

42 Aquesta nomenclatura fa referència als aliatges de forja i als postractaments als quals han estat sotmesos.

43 Les unions amb caragols poden provocar "juntas calentes"; unions en les quals la temperatura és més elevada.

44 No s'especifica el material del càtode.

45 Informació extreta dels correus intercanviats amb Francesc Fuertes de l'empresa AFV Inicia.

46 Es refereix concretament als efectes de la sobredimensió en la profunditat, però és perfectament equiparable als possibles efectes d'excés d'amplitud.

If the cathodes extend deeper into the tank than the parts being anodized, there will be excessive oxide growth on the parts in the lower portion of the anodizing tank. This will result in color differences in the oxide and subsequently colored parts. (p. 398)

No s'han trobat especificacions sobre el gruix del càtode, per tant, s'entén que el factor més important és la superfície d'aquest; concernent al gruix s'estableix la relació següent: a més gruix, més vida útil.

La distància entre el càtode i l'ànode ha de ser similar al conjunt de les peces en tractament, intentant que aquesta no sigui mai inferior a 15 cm (Henley, 1982, p. 45; Qualanod, 2020, p. 42).

Per tal de garantir una bona distribució de la densitat del corrent és preferible utilitzar dos càtodes, un a cada extrem del recipient. Si les peces a anoditzar estan col·locades de manera circular i es detecta que els càtodes laterals no tenen capacitat per a fer una distribució homogènia en la part central, s'aconsella situar un càtode cèntric en el cas d'una peça còncava o si és una part interna allò que es desitja tractar, situar un càtode a prop o suspès en la part interior, aïllant degudament les parts que estiguin en risc d'entrar en contacte amb l'ànode⁴⁷, i s'haurà de tenir en compte de proporcionar-li l'agitació corresponent per tal d'evitar el sobreescalfament i propiciar un acabat de qualitat. En el cas d'utilitzar càtodes centrals, s'ha de contemplar que la superfície activa serà la de les dues cares (Qualanod, 2020, p. 42).

47 Si l'ànode i el càtode entren en contacte provocarem un curtcircuit.

2.4.7_El tipus d'ànode. L'alumini i els aliatges en l'anoditzat

L'ànode serà d'alumini, però en el mercat podem trobar diferents tipus d'aluminis purs, així com molta varietat d'aliatges.

Aquest pot ser una constant si es treballa habitualment amb un mateix alumini o amb un grup reduït d'aliatges predeterminats, però aquest funcionament s'adiu més a les exigències i al plantejament d'una producció industrial, que a l'experimentació d'aquesta recerca.

Per tant, la naturalesa de l'alumini a anoditzar i si és el cas, posteriorment a acolorar, serà un factor de vital importància per a obtenir els resultats desitjats.

En aquest sentit, davant la possibilitat de connectar diverses peces al pol positiu, la presència en un mateix bany d'ànodes de diferents aliatges, pot dificultar l'anoditzat, ja que la densitat del corrent pot variar en cada cas, així com el gruix de l'oxidació (Henley, 1982, p. 45; Stevenson, 1994, p. 487; Wernick i Pinner, 1966, p. 253).

Cal remarcar que molta de la literatura especialitzada en el procés de l'anoditzat basa les seves investigacions en experiments realitzats en alumini pur i aliatges de forja laminats. Per tant, aquest apartat cobra un especial interès per a la present investigació, centrada en l'anoditzat de peces foses en alumini pur (99,5%) i diferents aliatges d'aquest metall.

2.4.7.1_Procedència i format

En el procés d'anoditzat es poden emprar aliatges de fosa i de forja, extrusionats o laminats (vegeu l'apartat 1.3.3_L'alumini i els seus aliatges). En l'estudi que ens ocupa, els primers, els de fosa, són els que tenen interès, però de totes maneres, veurem de manera superficial algunes de les peculiaritats que es mantenen constants en els aliatges de forja, les quals són beneficioses en un procés d'anoditzat reglat⁴⁸. Aquesta revisió ens ajudarà a remarcar certes singularitats identificables en els aliatges de fosa i que poden ser "perjudicials"⁴⁹ per al mateix procés.

Els aliatges de forja són subministrats a les empreses extrusionadores o laminadores, de forma molt controlada, per les indústries metal·lúrgiques que proporcionen l'alumini, de primera fusió o de segona, en els diferents formats requerits (totxos i plaques). Aquestes determinen amb exactitud els components dels aluminis subministrats, oferint en el seu producte la màxima qualitat. En tot cas, la mateixa empresa de semielaborats, un cop obtingut el producte final desitjat, també aplica els seus tractaments i controls:

Todas las aleaciones de aluminio de forja, exceptuando las series 1xxx, 3xxx, y 5xxx se calientan en un tratamiento de solución, se templean y se someten a un envejecimiento artificial para conseguir

48 Entendrem per reglat aquell anoditzat que compleix amb els controls de qualitat establerts en la indústria d'aquest.

49 S'ha remarcat l'adjectiu "perjudicial" per tal de donar a entendre que les anomalies, que poden tenir un caràcter nociu en un procés d'anoditzat reglat, poden ser profitoses per als objectius marcats en aquesta tesi.

las propiedades mecánicas finales deseadas... La verificación de la forja se lleva a cabo en dos pasos: durante la propia forja y al final del proceso.

Lo habitual para piezas forjadas de aleaciones de aluminio es hacer una comprobación dimensional del tratamiento térmico y una evaluación no destructiva para comprobar su acabado superficial o su calidad interna. (Gil et al., 2001, p. 43)

Els "totxos" subministrats són extrusionats, en fred o/i en calent, a través de la matriu mitjançant un èmbol, obtenint una forma determinada i les "plaques" són laminades amb l'ajuda de laminadores, però en cap cas, ningun dels dos formats es refon⁵⁰.

Aquest sistema de producció, sumat als components d'aquests aluminis, proporcionen una homogeneïtat superficial (estructural i compositiva) que és decisiva en la formació de l'òxid i per tant, en la capa porosa. Tanmateix, l'aliatge ha de ser l'òptim per al tractament escollit.

Els aliatges de fosa, subministrats en lingots, a més a més d'un control de subministrament menys exigent, estan constituïts d'elements que per una banda, en milloren les qualitats de fosa i les del producte resultant segons

50 Els totxos són lingots de forma cilíndrica, utilitzats en la fosa a pressió; aquests s'adapten al format de les màquines injectores. Per altra banda, les plaques són lingots en forma de prisma quadrangular que, en el seu procés més elemental, són sotmesos a una reducció de secció amb l'ajuda d'una laminadora, que els aixafa, allarga i eixampla.

De la Poza (1991) anota: "el aluminio es especialmente bueno para el procedimiento de extrusión por su gran plasticidad a la temperatura que el sistema requiere (375-525°C) según la aleación" (p. 77).

la finalitat, però per una altra, afecten majoritàriament de forma negativa⁵¹ al desenvolupament del recobriment anòdic (AAO). La producció que es realitza amb aquests aliatges està supeditada a la seva fosa, procés que aporta múltiples variacions en l'estructura i en la distribució dels seus components, afectant l'heterogeneïtat de la massa interior, així com la de la superfície del producte resultant⁵².

Runge i Chesterfield (2010) ens ho expliquen de forma esclaridora en el següent paràgraf:

Because cast components are produced to function near net shape, castings can be alloyed beyond what is typical for wrought products; that is, additions of other elements are at a higher % than the additions for alloys intended for extruded, rolled or deep drawn product (up to 16% total alloy content for castings vs. up to 8% for wrought alloys) (10). As such, cast alloys are metallurgically more complex than their wrought counterparts; increased alloy additions produce correspondingly higher levels of solution phases, intermetallic compounds and precipitates. Castings, therefore, in addition to their strength and fatigue resistance, exhibit more complex surfaces, with less free aluminium, which make them more difficult to anodize. A cast alloy is rarely designed for subsequent surface treatment, especially anodizing. Although an anodic oxide finish

51 Segons paràmetres de producció industrial.

52 No s'ha d'oblidar que l'anoditzat és un tractament superficial. Segons Wernick i Pinner (1966) "las aleaciones forjadas se comportan mejor que las fundidas en el anodizado debido a su mayor homogeneidad, el tamaño más reducido de las partículas de impurezas y de su menor porosidad" (p. 284).

may be desired to impart corrosion protection, where resistance to be a decorative finish, the ramifications of the anodizing process on complex cast alloys is typically not considered of the design or foundary [sic] level. (p. 31)

Les diverses formulacions dels aliatges de fosa permeten disposar de versions d'alumini que el converteixen amb un metall molt versàtil, capaç d'adaptar-se perfectament a les necessitats productives; tanmateix, un alumini que aconsegueix de forma satisfactòria amb el propòsit del procés de fosa, no atindrà necessàriament a les exigències de l'anoditzat i si s'escau, tampoc a les de l'acolorat.

Per tant, la composició de l'aliatge i les característiques obtingudes després de la fosa, repercuteixen directament en els acolorats, proporcionant valors estètics poc atractius i de difícil control en l'àmbit industrial.

Segons Hufnagel (1992) els elements comuns en els aliatges d'alumini poden provocar enterboliment en la capa d'òxid transparent i incolora, depenent del percentatge existent (p. 744). A causa de la seva falta de nitidesa en la superfície i en el color, la majoria dels aliatges presenten un aspecte embrutit.

2.4.7.2 Composició de l'alumini i dels seus aliatges de fosa

L'alumini pur (99,5 - 99,8%) i el molt pur (99,9%), si s'anoditza correctament, no pateix alteracions provocades per altres elements, ja que en la seva composició, la presència d'altres constituents és ínfima i per tant, el

seu recobriment és homogeni i transparent (González, 1984, p. 467; Qualanod, 2020, p. 34).

Aquest no és el cas dels aliatges; les partícules dels elements que els conformen, durant els processos que es relacionen amb l'anoditzat, reaccionen de forma diversa. L'anoditzat és un procés que transforma l'alumini en alumina, per tant, la resta d'elements de la composició no es veuen afectats de la mateixa manera pel tractament.

Les Directrius de qualitat de QUALANOD (2020) requereixen emprar alumini de "Qualitat anoditzable" per a obtenir uns resultats òptims; és a dir, uniformitat del color. A aquesta especificació hi afegeix: "no existe una norma nacional o internacional para esta 'Calidad anodizable' ya que el término se refiere a unos determinados programas de producción desarrollados por los fabricantes (p. 34).

La coneixença dels elements constitutius de l'aliatge d'alumini a emprar, així com la concentració en la qual es troben presents i la informació relativa a com aquests poden influir en el procés d'anoditzat i acolorat, permet planificar les operacions pertinents. En síntesis, els components dels aliatges i el seu percentatge, a part de les possibles alteracions en la formació de la AAO i per tant, també en la seva morfologia, com a conseqüència, produeixen alteracions en l'aspecte resultant.

Els elements que ordenen les principals sèries dels aliatges de fosa d'alumini (vegeu l'apartat 1.3.3.3_*Components dels aliatges*) són el silici, el coure, el magnesi, el zenc i l'estany i dins d'aquestes sèries es poden trobar, en més o menys mesura, el manganès, el ferro, el crom, el titani i

el zirconi.

Segons les investigacions de Bartolomé *et al* (2007), en el decapat (vegeu l'apartat 2.6.1.2_*Decapat*), les partícules de coure, dels aliatges que en contenen, afloren a la superfície, però durant l'anoditzat, perquè s'oxida més de pressa que l'alumini; el coure és alliberat a la dissolució⁵³. El mateix li passa al magnesi, però no al silici i al ferro que, a causa d'una oxidació lenta durant el tractament, es mantenen en les capes anòdiques (p. 263). En conseqüència, el silici, molt present en els aliatges de fosa a causa de les millores que aporta en la fluïdesa del metall, provoca irregularitats en el gruix de la capa d'òxid, ja que durant el procés no s'anoditza (Davies, 2001, p. 384). Wernick i Pinner (1966) afirmen que els aliatges AlCu amb un 95 % d'alumini, resulten excel·lents per a ser anoditzats⁵⁴ (p. 285). Si el percentatge és elevat afecta la superfície anoditzada amb irregularitats de tonalitats grises i marronoses (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, p. 8).

Els aliatges que en contenen més d'un 5 % de silici, enfosqueixen quan s'anoditzen, aportant a les superfícies tonalitats grisenques⁵⁵ (Davies, 2001, p. 384; Qualanod, 2020, p. 34). Part d'aquest enfosquiment és cau-

⁵³ Segons Curioni *et al* (2010) que el coure s'oxida més ràpidament o més lentament que l'alumini dependrà del potencial amb què s'estigui anoditzant (p. 239).

⁵⁴ Mingo (2016), en la seva tesi doctoral, fa referència al creixement irregular en la capa porosa que es constitueix en els aliatges de AlCu. Aquest fenomen és conegut com a "porositat lateral" (p. 40).

L'USDOD (2003) determina com a acceptables, per a certs recobriments anòdics, els aliatges que no superen el 5 % de coure (p. 5).

⁵⁵ En aquest cas, l'USDOD (2003) especifica que el valor màxim admissible se situa en el 8% de silici (p. 5).

sat pel decapat infligit abans de l'anoditzat, fet que es pot solucionar amb un “desmutting” eficient⁵⁶ (vegeu l'apartat 2.6.1.3_ *Neutralitzat i desmutting*), però de vegades, depenent de l'alt percentatge de silici (entre 8 i 12%), l'ennegriment també es succeeix després de l'anoditzat, obligant a realitzar un altre tractament de desmutting (Chesterfield, 2001; Labisz et al, 2018, p. 117).

La presència de manganès o crom es reflecteix en colors daurats o bronzes tot i estar-hi present en quantitats baixes (0,1 %) i en percentatges més elevats (1 % Cr i 3 % Mn), ocasionen enfosquiments associats als grocs i als marrons respectivament (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, p. 8; Qualanod, 2020, p. 34).

El magnesi no influeix en l'aspecte resultant ni altera els acabats brillant en concentracions inferiors a l'1 % (Wang, Kuo i Kia, 2004, p. 38); en tot cas, fins al 5 % es pot considerar que la pèrdua de brillantor és poc perceptible⁵⁷. En canvi, en percentatges superiors a aquest valor es produeix un notable enfosquiment del recobriments (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, p. 8; Mondolfo, 1976, p. 819).

56 El mot en anglès desmutting s'utilitza per anomenar el procés d'eliminació de l'enfosquiment de la superfície. El concepte en anglès “smut” (fumat), que s'ocasiona en alguns aliatges després del decapat i/o anoditzat. També pot ser un efecte derivat del segellat; en aquest cas, Chesterfield (2001) l'anomena “bloom” (s.d.).

57 La brillantor es veu alterada pel grau de rugositat que adquireix la superfície anoditzada durant el procés (Wang, Kuo i Kia, 2004, p. 38).

El zinc en percentatges elevats, si no es troba acompanyat en l'aliatge de percentatges significatius d'altres components, no afecta l'aspecte del recobriments ni de l'acolorat (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, p. 8)

Tant el titani com el ferro en redueixen la reflectivitat (Mondolfo, 1976, p. 819; Qualanod, 2020, p. 34). Segons Grubbs (2007), la presència de ferro també enterboleix el recobriments (p. 404).

Per altra banda, els components dels aliatges provoquen alteracions en la cel·la electrolítica utilitzada; alteracions que venen donades, segons Runge (2018, pp. 256-258), per la variació en la concentració dels reactius, fet que pot derivar en possibles reaccions simultànies i en competència, que originen canvis en l'energia de la reacció. Aquestes alteracions en la cel·la poden equilibrar-se modificant els agents que intervenen en l'electròlit.

La composició de l'aliatge afecta la tensió i el temps d'anoditzat. En alguns aliatges, els components o el percentatge d'aquests, influeixen en el gruix de la capa d'òxid. Per tant, aquells aliatges en els quals el recobriments és més abundós, necessitaran més tensió per a seguir produint la capa, mentre que els que produeixin més poc volum d'òxid, en necessitaran menys, ja que deixaran passar més l'electricitat (Wernick i Pinner, 1966, p. 282). Els mateixos autors afegeixen: “como regla práctica, la intensidad de corriente precisa por unidad de espesor de película, depende del efecto que los constituyentes de la aleación ejerzan sobre la conductividad de la capa” (p. 281).

Una mostra de la influència del percentatge d'un component en l'anoditzat, són els resultats obtinguts en les investigacions de Juhl (1998), en les

quals els recobriments obtinguts en aliatges AlSiMg, on el percentatge de magnesi és poc significatiu (0,5 %), són més gruixuts que en aquells que hi té una presència més rellevant (5 i 7 %) (com es va citar en Zhu, 2017, p. 8).

Altrament, Tsangaraki-Kaplanoglou et al (2005) exposen que aliatges idèntics, anoditzats amb el mateix electròlit però amb variacions en les condicions (temperatura i tensió), desenvolupen estructures poroses diferents (p. 2640).

Bartolomé et al (2007) especifiquen, en relació amb les diferències obtingudes en els porus, que els aliatges AlMg, en comparació amb l'alumini pur, proporcionen porus més grans, fet que influeix en la porositat i en la capacitat d'absorció (p. 259).

Com molt encertadament sintetitza Hufnagel (1992) “el aspecto decorativo de las piezas oxidadas anódicamente pueden influirse de modo decisivo con la composición del material, la calidad de la estructura y la forma y estado de la superficie” (p. 744). Complementant aquesta síntesi, afegirem que, amb motiu de les variacions en la superfície infligides per les raons exposades en aquest apartat, a més a més de les alteracions que influiran en la tonalitat del color i en l'aspecte (embrutit), serà comú que les coloracions estimades difereixin de les obtingudes, ja que s'afavoreixen les pertorbacions en la lluminositat i en la saturació⁵⁸.

58 S'entén per matís o to, la longitud d'ona dominant que defineix el color. Munsell (2008) ho explica de forma senzilla: “Hue is the quality by which we distinguish one color from another” (p.19). La lluminositat o el valor defineix la claredat o obscuritat d'un color; aquesta magnitud serà definida per la seva proximitat al negre absolut (0) o al blanc absolut (10) dins d'una escala de grisos. El negre, el blanc i els grisos són els denominats “colors

2.4.7.3_El procés de fosa i altres factors influents en l'anoditzat

A les variables derivades de l'ànode emprat (alumini pur o aliatge) s'hi sumen les opcions anteriors al propi procés d'anoditzat, que defineixen certes qualitats i característiques de l'ànode; ens referim a les que van relacionades amb l'apartat 3.1_*La fosa de l'alumini i dels seus aliatges*, com són: el motlle de fosa, la fosa de l'alumini i els tractaments mecànics⁵⁹ (Henley, 1982, pp. 15-16).

En el procés d'anoditzat es manifesten o s'amplifiquen les propietats i els defectes que el procés de fosa seleccionat i la seva execució, han atribuït a l'alumini resultant, a causa d'una possible dissolució irregular en el bany electrolític (Bartolomé, et al, 2007, p. 253; Stoll, 2019, p. 230). Tal com explica Short (2003) “the fact that the aluminium substrate is involved in the formation of the anodic film implies that any variation in the metallurgical structure of the substrate may have an effect on the appearance of the overlying anodized finish” (p. 6) i per tant, al posterior acolorat.

Respecte al tipus de motlle:

Les característiques del tipus de motlle, així com la reacció i els fenòmens ocorreguts quan el metall es troba en el seu interior, repercutiran en la major o menor aptitud de la peça fosa al tractament d'anoditzat o als re-

neutres”. La saturació o croma es refereix a com cada to (matís o color) emergeix gradualment del gris. És el grau de desviació de cada matís del color neutre. Els colors es poden classificar per una saturació dèbil, mitjana o per una d'alta, que definirà si són “forts” o “vius”.

59 En el cas que s'utilitzin tractaments químics, també formaran part d'aquests factors.

sultats requerits.

Stoll (2019) determina que els motlles fungibles aporten graus de porositat menors que els motlles permanents (p. 230). Segons Stevenson (1994) les porositats doten d'una aparença desigual a l'anoditzat i afecten negativament a l'acolorat⁶⁰. El mateix autor, referint-se als motlles permanents, especifica que aquests aporten els millors resultats i que el motlle d'arena és la pitjor opció (p. 487). Wernick i Pinner (1966, p. 284) i Hufnagel (1992b, p. 743) recolzen aquesta opinió sobre la poca idoneïtat d'aquest últim tipus de motlle.

Per altra banda, la textura superficial resultant de la utilització d'un motlle o un altre, repercuteix, essent en la majoria dels casos, de fàcil solució amb l'execució del tractament mecànic adequat. Sobre aquest tema, Hufnagel (1992b) especifica que la fosa en motlles de "coquilla" ofereix millors resultats quan es tracta d'aplicar color en la superfície resultant a partir de l'anoditzat, que les foses realitzades amb l'emmotllament a l'arena en verd (p. 743); Wernick i Pinner (1966) afegixen que el motlle d'arena dota l'alumini d'una superfície aspra que pot arribar a ser contraproductiu (pp. 284-285).

Respecte al sistema de fosa i el resultat obtingut:

Els resultats obtinguts de la fosa de l'alumini influeixen de forma complexa en els posteriors anoditzats; Runge (2018) ho expressa de la següent

⁶⁰ L'electròlit es pot acumular en els porus, i traspua després d'haver acolorat la peça (Henley, 1982, p. 15).

manera:

The oxidation reaction becomes more complex with diverse microstructural features such as grains with different sizes and orientation, various atomic level defects, elements in solution with the matrix, and various intermetallic particles of different size, shape, population, and distribution. (p. 324)

La mateixa autora fila més prim, adjudicant el pes de l'aliatge en l'anoditzat a la seva microestructura superficial i no a la del substrat, ja que, en aquesta s'emmiralla la qualitat de la fosa i és on queda marcada l'empremta de tots els defectes i les conseqüències dels tractaments infligits. També apunta que aquesta microestructura superficial inicial canvia, ja que, la microestructura en contacte amb l'electròlit, a mesura que l'anoditzat va avançant, i el metall es va convertint en òxid en la interfície òxid-metall, va sent rellevada per una altra microestructura, la qual està dotada de peculiaritats diferents (p. 321).

Per exemple, els resultats obtinguts amb les foses a pressió presenten superfícies molt llises, però un cop anoditzades, aquestes reflecteixen les línies de flux⁶¹, tendint a enfosquir-se de forma heterogènia, donant un aspecte tacat (Henley, 1982, p. 16; Hufnagel, 1992b, p. 743; Runge i Chesterfield, 2010, p. 30).

Tot i que les línies de flux són més característiques de la fosa per injecció

⁶¹ Línies propiciades per la generació, durant la injecció del metall, de múltiples fronts de refredament.

a causa de la baixa temperatura de fusió i el tipus de motlle que en són característics, les segregacions dels components dels aliatges que s'hi associen, poden estar presents en la resta de sistemes, afectant l'homogeneïtat de la disposició dels elements en la superfície de la peça i en conseqüència, reflectint irregularitats en el recobriment anòdic (Short, 2003, pp. 30-31). En el cas que la finalitat sigui la d'acolorar la superfície, evidentment el color també es veurà afectat. Wernick i Pinner (1966) ens ho expliquen:

La heterogeneidad del metal base, conduce pues, a unas capas heterogéneas que presentan menor resistencia a la corrosión, y son más oscuras y más opacas, a la vez que influyen desfavorablemente sobre las condiciones de la coloración. (p. 280)

Un altre factor que pot afectar a la qualitat o la semblança de la capa anòdica i en conseqüència, a l'acolorat entre peces d'igual forma, independentment del motlle utilitzat o el sistema de fosa escollit, són les foses desiguals; aquestes poden proporcionar una composició i microestructura diferent en un mateix aliatge (Runge, 2018, pp. 268-269), a causa de les variacions en la temperatura de la fosa; a la utilització o no, de desgasi- ficant, desescoriant o afinadors de gra; a la protecció o no, de les eines emprades (normalment de ferro) en la introducció o extracció en el caldo de productes o escòries; entre d'altres.

No s'ha localitzat estudis específics de la influència en el procés d'ano- ditzat en relació amb la fosa per gravetat i el motlle de closca ceràmica, sistema de fosa i motlle seleccionats per a la fosa de les provetes (vegeu l'apartat 3.1.1_*Paràmetres inicials*) i de gran part de les escultures de la

present investigació⁶² (vegeu l'apartat 3.2.5_*L'experimentació de l'anodit- zat i l'acolorat per impregnació sobre escultures de petit format*).

Respecte als tractaments superficials mecànics:

Els mecanitzats són tractaments elegits amb anterioritat o posteriorment a la fosa, que permeten, d'una forma molt directa i controlada, modificar la superfície de la peça, subtilment o de forma agressiva.

Runge (2018) concreta que a part de l'estructura i composició interna de l'aliatge d'alumini, la topografia externa, com la textura, les arestes, la contaminació i els mecanitzats infligits, repercuteixen en el conjunt de les propietats de l'oxidació anòdica resultant (p. 268). Per tant, totes les actuacions mecàniques infligides tindran repercussions. Stevenson (1994) insisteix en les afectacions que poden produir les marques superficials produïdes per les eines emprades, així com la necessitat de tractar les rebaves, si s'escau, originades durant la fosa (p. 487).

A més a més dels acabats superficials aplicats, les zones de contacte en- tre la peça fosa i els abeuradors poden ser susceptible d'irregularitats en l'anoditzat, a causa de les possibles diferències estructural amb la resta de la superfície de la peça (Wernick i Pinner, 1966, p. 286).

Un dels tractaments més habituals a l'hora de reparar possibles imperfec- cions de la peça resultant o fractures indesitjades és la soldadura. Quan

⁶² Com s'especifica en les corresponents fitxes i apartats (vegeu l'apartat 3.2.5.5_*Anoditzats artístics aplicats*), per a la fosa d'algunes escultures s'ha emprat l'emmotllament a la sorra.

es tracta d'afegir alumini per motius varis, les diferències en la composició i l'estructura d'aquest poden ser un problema; segons Anderson (2008), “el área de la soldadura siempre será visible, teniendo al menos una apariencia ligeramente diferente al aluminio adyacente. Debido a que la capa de óxido anódico es translúcida, los diferentes substratos serán visibles y pudieran, de hecho, acentuarse [sic]” (p. 14).

En resum, la morfologia de la peça, l'acabat superficial atribuït i les accions de sostracció i addició de metall, són susceptibles d'influir en l'anoditzat i en l'acolorat. Aquests temes seran tractats en l'apartat 3.2_ *L'experimentació amb l'anoditzat i els pigments. L'anoditzat Artístic.*

2.5_ **Classificació dels anoditzats segons les seves prestacions**

Els motius per a sotmetre els aluminis a un tractament superficial d'anoditzat, bàsicament són: augmentar-ne la protecció envers els agents externs (fonamentalment contra la corrosió), millorar el seu comportament en el rendiment de treball (desgast, lubricació, aïllament...) complementant de vegades el guany en protecció i proporcionar-los-hi un acabat decoratiu.

Les tres nomenclatures més utilitzades per a designar aquest tipus de recobriments són la de l'Aluminum Association (AA), l'especificació militar i la de l'empresa Alcoa. En aquest apartat, ens centrarem en explicar la nomenclatura de l'AA que es recull en la norma AA DAF-45-2003 (R2009)⁶³, ja que hem trobat que, a més a més de ser molt específica, és entenedora. Aquesta es pot trobar resumida en la Taula 2.1.

L'Aluminum Association utilitza la primera lletra de la paraula que fa referència al tipus de tractament, per a formular el seu sistema de designació; per tant, per a especificar si els acabats són mecànics (*mechanical finishes*) utilitza la lletra “M”, si es tracta de processos químics (*chemical finishes*) la lletra és la “C” i si són acabats anòdics (*anodic finishes*), la vocal “A”. Les designacions d'interès, en aquest capítol, són les relacionades amb els acabats anòdics (A).

⁶³ En el document de l'Aluminum Anodizers Council (AAC) (2013b) que es troba en les referències, inclou una comparativa entre les tres designacions. En el mateix llistat es pot consultar el document relacionat amb la designació militar (MIL-A-8625F).

Taula 2.1	Designació dels revestiments anòdics segons la Aluminum Association (A)*			
	Revestiment anòdic	Protectores i Decoratives	Arquitectònic Classe II	Arquitectònic Classe I
Gruix		< AA 10	entre AA 10 i AA 18	> AA 18
		< 10 µm	entre 10 i 18 µm	> 18 µm
	Transparent	A21 ¹	A31 ⁴	A41 ⁵
	Color integral	A22	A32	A42
	Color impregnat ²	A23	A33	A43
	Dipòsit electrolític ³	A24	A34	A44
	Altres (a especificar)	A2X	A3X	A4X
<p><i>Nota.</i></p> <p>* Segons la Aluminum Association (AA). La lletra "A", que apareix en les designacions, fa referència a la categoria acabats anòdics.</p> <p>La AA fixa com a comuns, per a l'obtenció dels revestiments que s'especifiquen en la <i>nota</i>, els següents paràmetres: Electròlit: 15 % d'àcid sulfúric. Temperatura: 20 °C. A/dm²: 1,3.</p> <p>¹ A21. Gruix: entre 2,5 i 7,5 µm. A211. Gruix: min. 2,5 µm. Temps: 10 min. A212. Gruix: min. 5 µm. Temps: 15 min. A213. Gruix: min. 7,5 µm. Temps: 20 min.</p> <p>² Acolorat amb colorants orgànics o inorgànics.</p> <p>³ Deposició de sals metàl·liques inorgàniques.</p> <p>⁴ A31, A33 i A34. Temps: 30 min.</p> <p>⁵ A41, A43 i A44. Temps: 60 min.</p> <p>AAC (s.d.). AAC (2013b).</p>				

Dins dels acabats anòdics s'engloben un conjunt de sèries que mostren certes especificacions. Aquestes es defineixen amb la numeració que s'afegeix després de la lletra de referència. Tal com descriu el "Technical Bulletin #2-13", de l'Aluminium Anodizers Council (AAC) (2013b):

- La sèrie A1 identifica els "Recobriments Anòdics Especials", com per exemple aquells que estan relacionats amb la posterior aplicació de pintura (A11)⁶⁴, els anoditzats amb àcid cròmic (A12) o els anoditzats durs (A13).

- La sèrie A2 s'utilitza per a especificar els recobriments de "Protecció i Decoració" on el seu gruix és menor de 10 µm, el seu nivell de protecció és baix, però conserven les superfícies brillants.

- La sèrie A3 engloba els anomenats de "Classe Arquitectònica II" i fa referència als que el seu gruix se situa entre 10 i 18 µm; aquests ofereixen més protecció que els de la sèrie anterior i un acabat mat.

- I la sèrie A4, "Classe Arquitectònica I", és la que agrupa els que superen els 18 µm de gruix aquests són recobriments amb un alt grau de protecció i són utilitzats habitualment en elements que han de ser instal·lats en l'exterior i per tant, han de suportar l'exposició continua als agents atmosfèrics; mitjançant aquest tipus de tractaments no és possible conservar les superfícies brillants, essent característic l'acabat mat. Els anoditzats d'aquesta sèrie també poden ser acolorats, oferint molt bona

⁶⁴ Els paràmetres d'aquest tipus d'anoditzat són: electròlit d'àcid sulfúric al 15 % a una temperatura de 20 °C i una densitat de corrent de 0,4 A/cm² durant 10 min. De vegades no es practica el segellat.

resistència a la llum solar (pp. 3-4).

Les variants A21, A31 i A41 responen a un “anoditzat clar” que es tradueix en un acabat transparent que permet veure el color natural de l'alumini. Per a obtenir aquests resultats s'empra l'electròlit d'àcid sulfúric, fet que el converteix en un procés econòmic.

Les variants A22, A32 i A42 són les que corresponen a l'aplicació dels “revestiments de color integral”, en els quals el color s'obté en el mateix procés d'anoditzat (vegeu l'apartat *2.5.2_Anoditzat de protecció / decoratiu*).

Les A23, A33 i A43 corresponen als “recobriments de color per impregnació”; aquest procés es practica en dues etapes: en la primera s'aplica un anoditzat transparent a l'alumini per a crear la capa porosa i en la segona, l'alumini anoditzat se submergeix en pigments orgànics o inorgànics per tal que es dipositin en els porus resultants (vegeu l'apartat *2.5.2_Anoditzat de protecció / decoratiu*).

I les A24, A34 i A44 fan referència a les “coloracions dipositades electrolíticament” o “coloració electrolítica de dos passos”; per a portar a terme aquests recobriments es realitza un primer pas, on l'alumini és anoditzat i un segon pas en el qual s'aplica color mitjançant un bany electrolític amb sals metàl·liques (vegeu l'apartat *2.5.2_Anoditzat de protecció / decoratiu*).

2.5.1_Anoditzat de protecció

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (2017) especifica en la UNE 38019:2017 que l'anoditzat de protecció és la “anodització del aluminio donde la protección frente a la corrosión y el desgaste son las características fundamentales y donde la apariencia es secundaria” (p. 6).

L'anoditzat ens permet “amplificar” el mecanisme de defensa de l'alumini, per tant, no és d'estranyar que s'hagi investigat la manera d'aconseguir que aquesta protecció ofereix el màxim de prestacions possibles.

Si al principi d'aquest capítol hem comentat què el gruix de la capa natural d'alúmina en l'alumini és igual o inferior a $0,001\ \mu\text{m}$, amb l'aplicació d'un anoditzat de protecció podem augmentar els valors a gruixos situats entre 5 i $20\ \mu\text{m}$. Aquests ens aporten més resistència a la corrosió i també al desgast (Ardelean et al, 2018, p. 1).

En l'anoditzat de protecció, la densitat de corrent (A/m^2) utilitzada és alta; un valor elevat d'aquesta variable ens proporciona capes d'òxid més gruixudes.

2.5.1.1_L'anoditzat dur

Si el que es pretén és obtenir uns nivells superiors de duresa i resistència a l'abració, s'aplica l'anoditzat dur. Aquest se situa entre l'interval de 15 i $200\ \mu\text{m}$, sent $51\ \mu\text{m}$ el valor més comú, ja que més gruix no és sinònim de més eficiència, sinó tot el contrari, podent-se produir una pèrdua

substancial de les qualitats que es pretén aportar (Kwolek, 2017, p. 37; Departments and Agencies of the Department of Defense [USDOD], 2003, p. 6, 18). Una de les conseqüències derivades del prominent creixement de la capa anòdica, que s'infligeix amb l'anoditzat dur, és l'augment en el volum de la peça tractada, ja que es calcula que aproximadament, el 50 % del total de la capa formada creix per damunt del volum inicial⁶⁵; aquest fet pot obligar, si la finalitat a la qual està destinada ho requereix, a estudiar i redefinir les dimensions de la peça abans de dur a terme el procés (Henley, 1982, p. 66).

Aquest tractament també proporciona a la superfície de l'alumini excel·lents característiques aïllants comparables a la del vidre i la porcellana (Kwolek, 2017, 43).

S'ha de tenir en compte que, per aconseguir la duresa i el gruix requerits, serà necessari realitzar anoditzats a baixa temperatura, inferiors als 5 °C i amb un amperatge elevat, sent habituals densitats de corrent de 3 A/dm² o superiors⁶⁶. Aquests paràmetres de treball aporten poca porositat, creant un recobriment anòdic espès, necessari per a garantir la resistència al desgast i un nivell de protecció més elevat contra la corrosió (Mahindru i Mahendru, 2011, p. 13; Jozefowicz, 2005, p. 39)

La complexitat en el control del conjunt d'aquests factors i les seves variables, dificulten aquests tipus de recobriments, incentivant la investigació

65 L'altre 50 % pertany a la penetració de la capa anòdica en el metall base.

66 La densitat de corrent elevada genera un increment de la temperatura en el bany; per tal d'eliminar aquest excés s'ha de disposar d'un agitador, com en els altres processos i també d'un dissipador de calor en el tanc (Kikuchi, 2015, p. 9).

en els electròlits i en els additius que se li poden afegir en els sistemes d'aportació del corrent elèctric i en el conjunt dels paràmetres d'anoditzat per adequar-los a les peculiaritats dels diferents aliatges.

Aquests revestiments no es segellen si la seva principal funció és la resistència a l'abrasió, ja que d'aquesta manera ofereixen millors prestacions; en canvi, si es pretén que actuïn amb eficiència, amb finalitats anticorrosives sí que se'ls hi practica el segellat (USDOD, 2003, pp. 7, 13)

2.5.2_Anoditzats de protecció i decoratius

Segons el punt 3.12 del document referit a la norma sobre el vocabulari en l'anodització de l'alumini i els seus aliatges (AENOR, 2017) esmentat anteriorment, l'anoditzat decoratiu és aquell "(...) que tiene como característica fundamental el producir un acabado uniforme y estéticamente agradable" (p. 6).

Habitualment, s'associa l'anoditzat decoratiu a la coloració de la superfície però no sempre fa referència a aquest tipus d'acabats. Un exemple que pot il·lustrar un tipus d'acabat decoratiu, en el qual no intervé el color, és el que s'aplica a les superfícies reflectants, ja que perquè segueixin fent la seva funció amb eficiència, l'anoditzat no ha d'interferir en la seva brillantor, procurant mantenir un acabat superficial impecable (AAC, 2013b, p. 3). Per una altra banda, cal tenir en compte que un acolorat no té perquè ser sempre sinònim de decoratiu, ja que a voltes les superfícies s'acoloren amb la finalitat de diferenciar certs components o aliatges, donant importància al marcatge i no a un resultat excel·lent (Henley, 1982, p. 8). En tot cas, l'acolorat de les superfícies anoditzades, és un dels principals atractius d'aquest tipus d'anoditzats.

Els anoditzats que reben el nom de "decoratius" no destaquen per un alt nivell de protecció, però no descarten un augment en aquesta; depenent dels factors atmosfèrics que puguin incidir en l'alumini, aquest tipus d'anoditzat pot, en més o menys grau, ser prou eficaç per a protegir-lo.

En canvi, quan es pretén aportar un alt nivell d'efectivitat en ambdues

característiques, aquest s'anomena anoditzat arquitectònic (International Organization for Standardization [ISO], 2013) i es denomina, en la nomenclatura de l'AA, de “classe I” o de “classe II” (Taula 2.1), depenent del grau de protecció que se li confereixi.

Per aconseguir dotar de color la superfície de l'alumini, després de l'anoditzat, la superfície haurà de gaudir d'una capa porosa que compleixi amb les qualitats demandades (morfologia, quantitat i capacitat). Un cop complet aquest requisit, les coloracions es poden obtenir, atenent les descripcions dels autors següents, aplicant diversos mètodes:

- La coloració integral, també anomenada “autocoloració”, té la seva peculiaritat en què la coloració s'efectua en el mateix moment que es va produint l'anoditzat. Durant el tractament, components del mateix aliatge, així com partícules que es van originant per efecte de la descomposició que es produeix en el bany d'anoditzat, es van adherint a la superfície tractada, creant, per dispersió òptica de la llum, les tonalitats de colors (Candell, 1993, p. 32).

Aquest fenomen s'aconsegueix amb electròlits formulats a partir de diferents àcids i un amperatge i voltatge elevat⁶⁷. A causa del seu elevat cost de producció, la coloració integral s'ha anat substituint per altres processos més econòmics.

67 Els electròlits que permeten aquests resultats són els d'àcid sulfúric, aplicant una temperatura baixa i una densitat de corrent alta durant el procés i els mixts, els quals s'aconsegueixen combinant àcid sulfúric amb altres àcids. L'amperatge demandat pot anar des dels 2 als 6 A/dm² i el voltatge entre els 70 i els 100 V.

Els colors més comuns que s'obtenen amb aquest procés de coloració són els xampanyes (beix clar amb tons daurats), el bronze, el coure, el negre i els borgonyes (vermells foscos amb matisos porpra, castanys o grisencs); aquestes variacions en els colors dependran de l'aliatge, de l'electròlit utilitzat i de modificacions en la temperatura i en la densitat del corrent. Amb aquest procés es pot arribar a aconseguir anoditzats durs (Stiller, 1957, pp. 431-432; National Association of Architectural Metal Manufacturers [NAAMM] i National Ornamental & Miscellaneous Metals Association [NOMMA], 2006, p. 8).

- La coloració per electrodeposició o “electrocoloració”, també coneguda per coloració electrolítica en dos passos, s'aplica mitjançant un primer pas, en el qual l'alumini és anoditzat i un segon, on es dipositen en els porus, a partir d'un altre bany electrolític, partícules metàl·liques, comunament d'estany (Sn) o níquel (Ni) o de vegades, de tots dos⁶⁸. La llum, quan incideix en la superfície de l'alumini, en concret en les partícules dipositades, és dispersada i dona, depenent de l'espessor acumulada, colors bronzes i negres⁶⁹ molt resistents a la llum (AAC, 2013a; Kawai i Yamamuro, 1997, p. 116; Reyes, 1993, pp. 20-21).

Una variant d'aquest procés és l'anomenada “coloració per interferència”

68 Els banyes electrolítics són variats i contenen les sals que són necessàries per al procés (sulfat de estany, sulfat de níquel, sulfat de cobalt...).

69 Un dels factors que determina la quantitat de partícules que emplenaran els porus i per tant, el color resultant, és el temps d'aplicació del corrent elèctric (AAC, 2013a).

Segons Reyes (1993), el metall es diposita en les 10 primeres micres de la base del porus, essent el volum d'ocupació més pròxim a aquest valor el que dona tons més intensos; quan l'estany ocupa les primeres 7 o 8 μm d'aquest porus, el color resultant és el negre (pp. 18, 21).

i es diferencia de l'anterior en el fet que el diàmetre de la base dels porus s'amplia a partir d'un bany electroquímic intermedi, de tal manera que els colors resultants s'obtenen per interferència òptica de la llum⁷⁰, en lloc de per dispersió. Les sals metàl·liques dipositades i les noves condicions permeten que es produeixin els efectes d'interferència, oferint colors grocs, verds blaus i porpres, entre d'altres (Dalla, 1995, pp. 5-6; Reyes, 1993, p. 26; Sheasby et al, 1980, pp. 41-44).

Els dos sistemes són cabdals en allò que fa referència a l'aplicació arquitectònica, a causa de la seva eficiència energètica, en comparació amb altres sistemes com la coloració integral i per l'obtenció d'acabats molt resistents als atacs atmosfèrics (AAC, 2013a, p. 1).

- I per últim, el que és d'interès per a la present recerca, l'acolorat per impregnació (vegeu l'apartat 3.2.1_ *Modalitat d'anoditzat i acolorat aplicat*). Per a obtenir els acolorats, primer de tot, es practica l'anoditzat en un electròlit d'àcid sulfúric, ja que aquest proporciona una capa anòdica incolora i posteriorment, un cop finalitzat, es submergeix la peça resultant en un bany de pigment⁷¹ orgànic o inorgànic (Stiller, 1957, p. 426). Les

70 Aquest fenomen es basa en la refracció d'un feix de llum després de reflectir-se en dues superfícies superposades. Exemples quotidians d'aquest fet en són els irisats de les bombolles de sabó i els d'una taca d'oli quan flota damunt de l'aigua (fenomen dels anells de Newton).

71 En la informació recopilada en anglès sobre l'acolorat per impregnació, és comú que s'utilitzi la paraula "dye", que traduït vol dir "colorant" o "tint", enlloc del terme "pigment". Tot i que els tints no són el recurs més eficient i per tant, són poc utilitzats, també s'utilitza aquest mot, "dye", per a fer referència a l'"acolorat" o al "bany de tint" o "tintat". En tot cas, en el transcurs d'aquest document, hem optat per emprar el terme que segons el nostre criteri, s'ha adaptat millor al concepte que en cada moment hem volgut transmetre. En l'apartat 2.7.1_ *Els colorants* explicarem en detall la diferència entre pigment i tint.

partícules dels pigments, a diferència de les metàl·liques utilitzades en la coloració electrolítica, es dipositen en la part més externa del porus. En aquest cas, però el color ve determinat per la reflexió de la llum sobre el pigment, color similar al d'origen, en el cas dels orgànics i en els inorgànics, ve donat per la reflexió que es produeix en diferents compostos químics com són l'hidròxid de ferro, el permanganat de potassi o l'acetat de cobalt entre d'altres, que intenten imitar el color bronze, llautó o or (Giles, 1979, p. 50).

Els colors que es poden aconseguir amb els pigments orgànics són molt variats, ja que cobreixen tot l'espectre visible (AAC, 2013b, p. 4); entre els més utilitzats trobem el blau, el verd, el vermell i el negre, però la gamma és molt més extensa. Tot i que el ventall de pigments o colorants és molt ampli, no tots tenen la mateixa resistència als factors atmosfèrics, essent la majoria, molt sensibles als raigs ultraviolats (UV) i en conseqüència, propensos a la pèrdua d'intensitat en els seus colors.

Com en tots els anoditzats, l'elecció del procés més adequat i la seva correcta execució són factors fonamentals, entenent això sí, que l'aliatge influeix sobre manera en l'aparença resultant; per tant, seleccionar l'aliatge més adient és decisiu (vegeu l'apartat 2.4.7_ *El tipus d'ànode*).

En l'anoditzat decoratiu s'aplica una densitat de corrent baixa, ja que, com hem comentat anteriorment, aquesta ens proporciona una capa d'òxid prima, però amb molts nuclis d'òxid; a l'haver més nuclis d'òxid, aquests es toquen més ràpidament entre ells i de forma accelerada, es comencen a crear els porus, limitant el gruix de la capa.

2.5.3_Anoditzat artístic per impregnació

En aquest apartat, es vol donar peu a introduir una nova categoria que aplegui les característiques que poden ser requerides per a un anoditzat i posterior acolorat, orientat a ser aplicat a la producció escultòrica en alumini fos.

El terme “anoditzat artístic” és en aquests moments un concepte marginal i poc definit. En les fonts consultades, s’han trobat molt poques referències a un anoditzat orientat a cobrir les necessitats concretes de l’escultor. Només s’ha pogut localitzar un llibre de referència en aquest camp; el document en si, porta per títol “Artists Anodizing Aluminum. The Sulfuric Acid Process” i ha estat escrit i autoeditat per l’escultor i joier David LaPlanz. El llibre de LaPlanz (1988) té un caràcter didàctic i entra dins del que podríem anomenar un “manual”. Així i tot, juntament amb el vídeo del mateix autor, amb el mateix títol que el llibre (LaPlanz, 1989), mostra com tractar l’alumini mitjançant diferents recursos de forja i com posteriorment, aplicar un procés d’anoditzat i acolorat. Encara que el camp d’actuació no és l’alumini de fosa i que els recursos mostrats són bàsics, aporta informació d’interès per a l’àmbit de l’escultura i de l’art en general.

Aquesta falta de documentació sobre el tema, sigui en format manual o en estudis acadèmics o industrials, ha donat peu a definir, a partir de la informació recopilada relativa a altres àmbits, uns paràmetres que poden establir les bases d’aquest tipus d’anoditzat.

En essència, l’anoditzat artístic, tal com nosaltres l’entenem en aquesta recerca, utilitza lliurement tots els recursos expressius i estètics proce-

dents de:

- Els aliatges de fosa. Els enfosquiments, taques i altres alteracions superficials originades pels components de l'aliatge un cop realitzat el tractament d'anoditzat o qualsevol dels banys relacionats amb el pretractament (primer cicle de neteja) o amb la posterior neteja i segellat, essent lícit prescindir de qualsevol dels banys si això actua en benefici de l'obra. En aquest plantejament, l'aliatge escollit no significa un inconvenient per a dur a terme l'anoditzat, essent la prioritat la voluntat artística i l'aptitud de l'aliatge per a emplenar el motlle de fosa.
- La coloració a partir de la impregnació dels aluminis anoditzats⁷². La llibertat en la forma d'aplicar els agents colorants⁷³, així com la que es pot associar a les variacions en la tonalitat, lluminositat i saturació dels

72 A falta d'investigacions en el camp de l'art relatives a altres sistemes d'aportar color a l'alumini, a partir de les possibilitats que aporta l'anoditzat o altres recursos, en aquests moments hem delimitat l'anoditzat artístic a les possibilitats que pot oferir l'acolorat per impregnació.

73 Stiles (2010), en el seu manual sobre les possibilitats que ofereix la coloració a partir de l'anoditzat en la joieria, exemplifica diversos mètodes per a dur a terme l'aplicació del color, entre els quals es troben la seqüenciació, on s'utilitzen diversos sistemes d'aplicació seguint un ordre establert; la temporització, centrada en les variacions en el temps d'immersió de la peça, de forma parcial o total, en un o en diversos colors; la barreja i la superposició, basada en les repetides immersions de la peça en un bany o banys de color, podent combinar els tons i el valor d'aquests i la superposició selectiva, que permet crear gradacions de color a partir de submersions graduals en els medis colorants. En el mateix document també ofereix alternatives als colorants habituals com són les tintes, que permeten la impressió i l'estampació i els retoladors (pp. 41-53).

El sistema d'aplicació pot demandar experimentar amb altres tipus de medis que permetin administrar el colorant de forma operativa. Wernick i Pinner (1966) proposen, en el cas de voler aplicar el colorant amb pinzell o esponja, una solució espessidora basada en fècula de blat de moro (750g), fècula de tapioca (250g), goma tragacant al 8% (2.250g) i aigua fins arriba als 10 litres, que es pot afegir en un 20% al preparat de pigment o tint (p. 392).

mateixos agents (concentració en el medi i temps d'aplicació).

- Els defectes sorgits durant el procés de fosa. Aquest recurs s'hereta de l'aprofitament de les imperfeccions, que majoritàriament de forma involuntària, apareixen en les produccions realitzades amb fosa de metalls (porus, xuclets, rebaves...) i que tenen el seu origen en errors comesos durant els diversos processos de la tècnica (cocció insuficient o ruptura del motlle, gasos en el metall o sobreescalfament d'aquest...). Els defectes, si s'opta per conservar-los, influiran en les qualitats de l'acolorat.

En aquest sentit, integra característiques que s'associen a l'anoditzat decoratiu i a l'arquitectònic, a la vegada que n'afegeix d'altres que defugen de la definició que aporta AENOR (2017) i per tant, no es contemplen cap dels dos tipus d'anoditzats; en conseqüència, com és lògic, l'anoditzat artístic pot entrar en conflicte amb els conceptes que s'associen als anteriors, a causa que l'interès prioritari de l'anoditzat artístic és aportar cromatismes que permetin sumar valor artístic a l'obra, anteposant aquest criteri a l'acabat regular i estèticament establert com a agradable.

Aquesta llicència no és gratuïta. La qualitat cromàtica del material i/o del seu acoloriment, des de sempre, ha servit per a abordar aspectes relacionats amb les emocions i les sensacions, com per exemple un estat d'ànim, però també ha estat útil per a potenciar allò real o irreal o les motivacions culturals, socials i/o ideològiques; per tant, sembla evident que l'artista ha de poder nodrir la seva obra amb tots els mecanismes que es presenten al seu abast per a plasmar les seves inquietuds (Hägele, 2013, pp. 282-297).

Si l'aparença de la superfície d'una escultura pot ser diversa i no té perquè

ser ni uniforme ni agradable; si el color, que es destina a complementar el valor expressiu de l'obra, pot ser pla, dotant a tota la superfície de la mateixa intensitat o modular, gaudint de variacions i gradacions tonals, de saturació i de lluminositat; si es pot utilitzar la monocromia o la policromia; i si la superfície de l'escultura pot ser acolorada totalment o parcialment, deixant entreveure o amagant el material de base; és doncs evident que no estem parlant en plenitud de l'anoditzat decoratiu.

Així doncs, en primer lloc, l'anoditzat artístic defuig dels paràmetres que s'associen al concepte "decoratiu"; quan es busca la definició de decoratiu trobem que és quelcom "con apariencia de ser importante sin serlo" (Real Academia Española [RAE], s.d., definició 3).

Hi ha hagut algunes aportacions que han desgranat part del potencial artístic d'aquest procés, sobretot des del punt de vista del color. N'és un exemple l'"anoditzat multicolor"; aquest se centra en la superposició de processos, possibilitant conviure en la mateixa superfície diferents colors. Aquests resultats poden obtenir-se utilitzant productes d'emascament que reserven certes zones de la superfície, abans o després de ser acolorades, evitant d'aquesta manera l'absorció de l'agent colorant, i deixant-ne al descobert, d'altres susceptibles de ser impregnades.

Altres sistemes, com la patent de Jacobs (1971), prescindeixen de l'aplicació de productes d'emascament en el procés, mitjançant l'acolorat de tota la superfície i el posterior lixiviat i decolorat de les zones en les quals es pretén aportar un altre color. Aquests mecanismes es poden combinar per a obtenir els acabats desitjats, aportant des de superfícies amb colors molt definits a efectes de marbrejat, difuminats i superposicions de colors.

L'anoditzat multicolor també fa referència als processos que permeten tractar la superfície d'alumini anoditzat com si fossin un llenç tradicional; gràcies a la qualitat absorbent que s'aconsegueix amb l'anoditzat. Es pot aplicar color amb l'ajuda d'un pinzell o d'una esponja i fins i tot es poden utilitzar retoladors (Wernick i Pinner, 1966, p. 392).

Una variant n'és l'"anoditzat splash"; aquest focalitza el recurs policromàtic en aconseguir, a partir de reserves i múltiples immersions en banys de tint, l'efecte d'esquitxades multicolor⁷⁴.

Per altra banda, no hem de confondre la llibertat en l'acolorament de l'alumini anoditzat amb la pèrdua de qualitat. És important no perdre de vista l'elecció del millor procés d'anoditzat i acolorat, definint des d'un inici quins seran els factors externs que influiran un cop la peça hagi estat dotada de l'aparença desitjada. Un aspecte primordial a tenir en compte, és si la peça resultant serà ubicada en un espai interior o exterior; aquest serà fonamental per a adaptar el procés i evitar la ràpida degradació de l'acolorat (vegeu l'apartat 2.7.2_ *Els pigments i l'acolorat per impregnació*).

Un altre aspecte estudiat és el de la influència de l'aliatge escollit en el resultat final de peça, després d'haver estat anoditzada i acolorada. La repercussió de l'anoditzat sobre l'aparença de la superfície dels diferents aluminis, ha estat tractada en l'apartat 2.4.6_ *El tipus d'ànode. L'alumini i els seus aliatges en l'anoditzat*; en el present, l'hem tingut en compte,

⁷⁴ Peter Kellett, fundador de la ja desapareguda P.K. Selective Metal Plating, especialitzada en el procés d'anoditzat multicolor, ha fonamentat la seva carrera artística en les possibilitats que ofereixen aquests múltiples processos; el 1992, la seva empresa, fou la primera a realitzar anoditzats splash, aplicant aquest tipus de dissenys a les pistoles de paintball (Valero, 2004).

ja que, a part dels recursos abans esmentats en relació amb l'aplicació del color, les característiques de cada alumini, en aquest cas de fosa, poden aportar després de l'anoditzat i acolorat, recursos cromàtics d'interès, susceptibles de ser inclosos dins del concepte de l'anoditzat artístic. Aquest tema serà desenvolupat en l'apartat 3.2-*L'experimentació amb l'anoditzat i els pigments. L'anoditzat Artístic.*

2.6_ El procés d'anoditzat amb àcid sulfúric. Model bàsic

En aquest apartat exposarem la informació recollida procedent de diferents fonts sobre les etapes i la seqüència d'aplicació habitual, que conformen el procés d'anoditzat amb àcid sulfúric.

Brace i Sheasby (1979) i Wernick i Pinner (1966) especifiquen que el tractament d'anoditzat consta de diverses operacions: un cicle de rentat inicial, l'anoditzat, un altre cicle de rentat, l'acolorat, si s'escau i el segellat. Les operacions estan formades per diversos banys supeditats a certes variables; aquestes poden ser modificades amb una finalitat o una altra.

Tot i que habitualment, el centre d'atenció recau sobre l'anoditzat, segons els processos normalitzats, els banys d'aclarit, de desgreixat, de decapat i de neutralitzats, que formen part dels cicles de rentat, són una part del procés que es consideren de vital importància. Les peces a tractar necessiten aquests rentats, previs i posteriors, si es volen obtenir resultats satisfactoris i evitar malmetre i en conseqüència, restar efectivitat als posteriors banys (Runge, 2018, pp. 155-156).

Destacarem que totes les etapes i els banys que les constitueixen, que s'exposen en els següents apartats, poden requerir modificacions en els seus paràmetres per adaptar-se als requeriments dels aliatges i les superfícies a anoditzar (Wernick i Pinner, 1966, p. 188).

2.6.1_Cicle de neteja. Preparació de les peces a anoditzar

Després dels acabats mecànics i/o químics aplicats a la peça que es pretén anoditzar, per evitar interferències en la creació de la futura capa d'alúmina, Brace i Sheasby (1979) i el conjunt de les fonts consultades, especifiquen la necessitat de realitzar una neteja superficial. Es tracta d'eliminar les partícules de pols d'alumini i d'altres components en el cas dels aliatges, així com les procedents de l'utilitatge i els productes abrasius emprats i les possibles restes de greix derivades de la manipulació i dels lubricants utilitzats (pp. 39-40).

Aquest cicle de neteja, també anomenat fase o pretractament, consta de diversos banys, l'execució dels quals segueix unes pautes concretes, amb una doble finalitat: obtenir els resultats previstos i reduir la contaminació dels successius banys. El cicle consta de les següents tres etapes: desgreixat, decapat i neutralitzat⁷⁵ (AAC, 2013b, pp. 3-4).

2.6.1.1_Desgreixat

Aquesta és la primera etapa del cicle i se centra en eliminar les partícules dipositades en la superfície de l'alumini que no formen part de la peça (pols i greixos); sols en els casos en els quals la superfície es presenta neta, és a dir, que no s'observen quantitats elevades de greixos, se'n pot prescindir; en cas contrari, es pot contaminar el posterior bany i posar en

⁷⁵ Hem cregut oportú, encara que l'Aluminum Anodizers Council (2013b) no inclou el neutralitzat en aquesta fase (pp. 3-4), incorporar-lo com a part del cicle de neteja inicial.

perill la qualitat dels resultats finals.

Hufnagel (1992b) comenta que es poden utilitzar diversos agents de caràcter àcid o alcalí amb qualitats detergents i emulsionants⁷⁶ (pp. 722-723), per tant, amb poder de penetració, essent capaços d'entrar en els porus, localitzar la “brutícia” i actuar sobre ella, separant-la en partícules i evitant que es tornin a dipositar en la superfície neta.

Tal com explica Altmajer (2004), a l'hora de triar el producte de neteja s'ha de tenir en compte el substrat que es vol desengreixar:

La composición química del sustrato nos condicionará en gran medida el tipo de detergente a utilizar. Por ejemplo, los metales blandos (Al, Zn, etc.) suelen reaccionar frente a los ácidos y álcalis, por lo que se deberá usar detergentes ni excesivamente ácidos ni alcalinos. (p. 37)

En conseqüència, la composició adequada del bany, segons la finalitat sol·licitada, evita que la superfície de l'alumini es vegi alterada.

76 Quan parlem d'un agent detergent ens referim a aquelles substàncies químiques amb capacitat per a dissoldre la brutícia en qualsevol classe d'aigua; aquesta serà definida pels components que el conformen, com són els tensioactius, els additius i els coadjuvants (Altmajer, 2004, p. 21).

Els tensioactius (o surfactants) aporten als detergents, gràcies a les seves molècules anfifíliques, la capacitat de ser hidròfils i hidrofòbics a la vegada, conservant les seves propietats netejadores en contacte amb l'aigua; la de ser un bon agent humectant, capaç de trencar la tensió superficial de l'aigua, capacitant-lo per a mullar les superfícies i dispersar-ne la brutícia; la de ser emulsionant, propietat que li permet barrejar-se amb l'aigua sense problemes i ser solubilitzant, per tal de dissoldre les molècules no desitjades. Les aportacions dels coadjuvants i els additius, en general, són les de millorar les qualitats dels tensioactius (Cahn i Lai, 2006, pp. 4-13).

Després de desengreixar la peça amb el medi o medis seleccionats (detergents, dissolvents, dissolucions àcides o alcalines)⁷⁷, aquesta s'aclareix amb aigua fins que no en queda cap residu. El rentatge s'efectua immediatament després de la neteja, evitant d'aquesta manera, l'adherència del netejador en la superfície del metall durant l'assecat (Wernick i Pinner, 1966, p. 175).

2.6.1.2_Decapat

En la segona etapa, la principal finalitat d'aquest bany és eliminar l'alúmina que recobreix la peça d'alumini per a deixar el metall nu, preparat per a generar una capa d'òxid nova i controlada. Així i tot, cal destacar l'efectivitat que demostra també, en l'eliminació de les partícules de pols i de greix.

L'alumini és amfòter⁷⁸ i com hem comentat, és ràpidament atacat per les solucions àcides i alcalines; per tant, es poden utilitzar ambdues solucions per a dur a terme aquest tractament. En tot cas, el resultat és diferent i tal com indica l'empresa d'anoditzats AFV Inicia⁷⁹ (2015):

L'atac alcalí, mitjançant una solució de sosa càustica, modifica la superfície de l'alumini, amb resultat final rugós, de manera que la reflexió de la llum és desordenada i mostra un aspecte mat.

77 Hufnagel (1992b) proporciona un llistat de possibles tipologies de netejadors a utilitzar entre els quals trobem una dissolució d'àcid nítric i fosfòric (del 15 al 35% p/p i de l'1 al 5% p/p respectivament) o diversos dissolvents orgànics com el percloroetilè o el benzè entre d'altres (p. 722). Brace i Sheasby (1979) fan el propi en el seu llibre “The Technology of Anodizing Aluminium” (pp. 42-43).

78 Reacciona en solucions àcides i alcalines.

79 Empresa d'anoditzats que ens ha assessorat durant el procés.

En canvi un atac àcid, mitjançant una solució d'àcids sulfúric, fosfòric i nítric, modifica la superfície de l'alumini deixant-la de la forma més plana possible. Això permet la màxima reflexió de la llum, mostrant l'acabat brillant. (par. 2-3)

En conseqüència, el decapat és un procés que pot produir variacions en les qualitats superficials predeterminades. Depenent del temps d'exposició, la solució utilitzada i la temperatura d'aquesta, s'obtenen diferents graus de neteges, podent arribar a produir una modificació severa de la superfície. En síntesi, per a conservar les qualitats de la superfície de la peça, obtingudes mitjançant els processos d'acabats, s'ha de considerar realitzar un decapat suau; en canvi, si es té la voluntat d'alterar-les, es poden dur a terme decapats més agressius.

Per a preservar les qualitats originàries, Canals (2009) proposa considerar l'opció de passar a anoditzar directament, prescindint del decapat. En tot cas, s'haurà de tenir en compte que per a obtenir una superfície totalment lliure d'òxids metàl·lics serà essencial dur-lo a terme (p. 45).

Hufnagel (1992) determina que la solució més usada en aquests banys és l'alcalina: dilució d'hidròxid de sodi (NaOH) en aigua destil·lada, també coneguda com a "llegiu de sosa". Aquesta pot variar la seva concentració de sosa, designant-se "llegiu de sosa fort" quan és del 10 al 20 % p/p o "llegiu de sosa dèbil" quan és del 2 al 5 % p/p (pp. 722, 726). Segons Ortega (1990), la temperatura de treball d'aquest bany pot oscil·lar entre els 40 i 70 °C i el temps d'exposició de la peça a tractar entre 1 i 5 minuts, depenent de la concentració i el resultat desitjat (p. 72).

2.6.1.3_Neutralitzat i “desmutting”

Per a la tercera etapa del cicle, després del bany de decapat, Davis (1998a, p. 462) i Henley (1982, p. 46) resolen que és necessari un rentatge exhaustiu. Primerament, mitjançant l'esbandit de la peça d'alumini en una cubeta d'aigua, seguit d'un aclarit profund amb el raig d'una botella de rentat i a continuació, practicant un neutralitzat amb àcid nítric (HNO₃), en una concentració d'entre el 10 i el 15 % en volum. Els dos argumenten que aquest últim bany atura l'efecte del bany de decapat, a la vegada que elimina els dipòsits d'impureses adherits a la superfície de l'alumini insolubles en la dilució alcalina (desmutting).

La composició del neutralitzat pot modificar-se en relació amb l'aliatge utilitzat, adaptant-se a les impureses que es pretenen eliminar. Per exemple, en els banys de decapat alcalins, els aliatges que contenen coure es recobreixen durant el decapat, d'una capa fosca que és de fàcil extracció en la dissolució d'àcid nítric, comunament d'entre el 20 i el 30 % en volum a temperatura ambient, però per als que contenen valors superiors al 0,8 % de silici aquesta dissolució no és suficient per a eliminar la deposició grisa resultant, sent efectiva la d'àcid nítric i fluorhídric (Brace i Sheasby, 1979, p. 52; Henley, 1982, p. 50; Hufnagel, 1992b, p. 726).

Seguidament, després del bany de neutralitzat, es practica l'últim rentat abans de l'anoditzat, i com en els anteriors, es procedeix a la immersió i agitació de la peça en recipients amb aigua, per tal d'eliminar les restes del bany impregnades en l'alumini; després d'aquest esbandit, es pot optimitzar la neteja amb un abundant aclarit amb aigua corrent (Wernick i Pinner, 1966, p. 157).

Abans de passar a l'anoditzat es poden dur a terme altres tractaments superficials i obtenir resultats més favorables en relació amb els objectius a assolir. L'AAC (2013b) i les directrius de la marca de qualitat Qualanod (2020) fan referència a l'abrillantat; després d'un decapat suau es pot realitzar, mitjançant recursos químics o electroquímics, un microallisat de la superfície per a millorar-ne les qualitats especulars mitjançant solucions àcides, com per exemple, àcid fosfòric amb àcid nítric i/o sulfúric, en el cas del polit o abrillantat químic.

2.6.2_Anoditzat

Un cop completat el cicle de neteja ja es pot iniciar l'anoditzat; aquest succeeix en la cel·la electrolítica i a diferència del cicle de neteja, aquest es porta a terme en una sola cubeta on s'introdueix la peça i s'hi manté fins que s'ha acabat el tractament.

Les variables que intervenen en aquest cicle i els fenòmens que s'hi succeeixen, s'han explicat en els apartats *2.3_ Aspectes bàsics de l'anoditzat* i *2.4_Variables que intervenen en la cel·la electrolítica de l'anoditzat*.

En el present apartat s'exposa la informació recollida en relació amb la infraestructura, incidint en la seva funció en la cel·la electrolítica i les dades aportades per diversos autors per a definir un procés bàsic a seguir en el tractament d'anoditzat amb àcid sulfúric. Ens hem centrat exclusivament en l'anoditzat amb electròlit d'àcid sulfúric, ja que aquest és el que té especial interès en la present recerca, essent el que s'ha emprat en l'experimentació que s'hi relaciona.

2.6.2.1_Infraestructura

Els components de la infraestructura destacats per aquests autors són els següents: l'alimentador elèctric, el recipient, el sistema de connexió elèctrica i subjecció de les peces, el sistema de control de temperatura i el sistema de control del pH.

- L'alimentador elèctric. La "font d'alimentació" o rectificador és l'encarregada de proporcionar energia (electricitat) al circuit d'anoditzat; també

s'ocupa de convertir el corrent altern que ens arriba de la xarxa elèctrica (AC o CA) a corrent continu (DC o CC).

Aquest dispositiu permet controlar el voltatge i l'amperatge necessari en funció del tipus d'anoditzat i de l'àrea de la superfície a tractar, per a dur a terme el procés electrolític. Així doncs, el tipus de font d'alimentació depèn d'aquests dos factors. Per exemple, segons Wernick i Pinner (1966), en un dels procediments estendards per a un anoditzat i posterior acolorat, amb un electròlit d'àcid sulfúric al 20 % p/p, s'ha de poder administrar entre 1,2 i 1,5 ampers a cada un dels dm² de la superfície de la peça a tractar, mentre que el valor del voltatge se situa entre 10 i 20 volts (pp. 304-305). En un altre cas, en una de les fitxes tècniques de l'empresa A.M. Metal Finishing (s.d.), per a un anoditzat amb el mateix electròlit al 15 % p/p, es defineix entre 1 i 2 els ampers per dm² i entre 15 i 22 el voltatge, especificant en aquest darrer valor, que aquest dependrà de l'aliatge a tractar (p. 2). Complementant els exemples en la Taula 2,2 es mostra la densitat mitjana que Qualanod (2020) recomana per a un anoditzat en electròlit d'àcid sulfúric.

Taula 2.2		
Densitat de la corrent segons el gruix		
Classe de gruix	µm	A/dm²
AA 5 i AA 10	entre 5 i 10	1,2 - 2,0
AA 15	15	1,4 - 2,0
AA 20	20	1,5 - 2,0
AA 25	25	1,5 - 3,0

Nota. Dades extretes de les Directrius de Qualitat de la Marca Qualanod (Qualanod, 2020, p. 42).

- El recipient. La cubeta o tanc on s'anoditza ha d'aguantar l'atac de la dilució d'àcid sulfúric i l'augment de la temperatura produït durant el procés. Pot ser de diversos materials, però per tal que no contaminin la solució del bany, són habituals els materials inerts⁸⁰, com per exemple el polipropilè (PP) i el policlorur de vinil (PVC) o l'acer afinat⁸¹ i el vidre, però aquest últim no és recomanable per la seva poca resistència a l'impacte (F. Fuertes, comunicació personal, 20 de maig i 16 de setembre de 2019).

La cubeta ha de tenir les dimensions necessàries per a complir amb els requisits que s'aniran explicant al llarg d'aquest apartat.

- El sistema de connexió elèctrica i la subjecció de les peces. Per a connectar les peces a la font d'alimentació i mantenir-les submergides dins de l'electròlit s'utilitza una mena de riell de suport conductor d'on es penjen els ganxos, igualment conductors, que subjecten les peces d'alumini.

- Subjeccions. Les peces d'alumini a anoditzar han d'estar ben fermades al sistema de subjecció seleccionat. Aquest sistema ha de tenir un contacte suficient amb la superfície i un ancoratge ben aferrat perquè el flux de corrent circuli per la peça, submergida dins de l'electròlit, sense problemes.

Un cop contemplats aquests requisits, el contacte entre les peces i les

80 El terme inert, en química, s'utilitza per a indicar que no reaccionen químicament.

81 Més endavant explicarem algun dels inconvenients d'aquest tipus de tancs.

subjeccions ha de ser el mínim necessari, ja que, en els punts d'unió la peça no s'anoditzarà, quedant les marques de la fixació (LaPlantz, 1988, p. 96). Per tant, s'haurà de considerar que, si la finalitat és decorativa o artística, les marques quedin tan ocultes com sigui possible i si la peça ha d'estar exposada a ambients corrosius, els senyals provocats per l'ancoratge seran punts desprotegits. Henley (1982) ens explica la importància de l'àrea de contacte entre la peça i la fixació:

This area must be as small as possible but sufficient for current to pass without overheating the metal. Large articles need to be connected to the source of current at several points; they may need to be bolted on to jigs. (p. 45)

Per a complir totes aquestes condicions, s'utilitzen els anomenats "racks" i "jigs", "bastidors" i "plantilles", en el nostre cas utilitzarem el terme jigs entenent-lo com a penjadors o ganxos, elements de subjecció dissenyats per a retenir amb tenacitat les peces. Els principals materials de fabricació d'aquests estris són l'alumini i el titani, tanmateix, també se'n poden trobar de coure⁸² (Grubbs, 1996, p. 26).

Els elaborats amb alumini⁸³ són més econòmics però menys duradors que els de titani. La seva vida útil es veu reduïda pel simple fet que, durant el procés d'anodització, l'alumini de les subjeccions també es veu afectat per l'oxidació, de manera que serà necessari desanoditzar-los cada cop que es vulguin tornar a fer servir sinó es corre el risc que dei-

82 Aquests últims, els de coure, no són habituals, però Grubbs (1996) els considera avantatjosos quan es tracta d'anoditzar aliatges de fosa (p. 26).

83 L'alumini utilitzat habitualment és el pur i els aliatges, de forja 6063 i 6101.

xin de ser transmissors i es produeixi un mal contacte i en conseqüència, un tractament deficient o inexistent (Henley, 1982, p. 46).

Aquest procés de desanoditzat es pot realitzar amb una solució d'àcid fosfòric i cròmic o en una de sosa càustica, la mateixa utilitzada en el decapat⁸⁴. L'eliminació de la pel·lícula anòdica de les fixacions també es pot portar a terme manualment amb llimes i paper de vidre entre d'altres, però ens arisquem a obtenir resultats irregulars i poc precisos.

Els jigs de titani són més cars, però no són anoditzats durant el procés i per tant no necessiten manteniment; segons Wernick i Pinner (1966):

El titanio es inerte en la mayor parte de las soluciones del proceso, y aunque presenta una elevada tendencia a la corrosión en las soluciones de ácido sulfúrico diluido, a 21°C en ausencia de corriente, durante el mismo proceso del anodizado, queda protegido por su pasividad anódica. Es decir, que el titanio puede constituir gancho adecuado, siempre que estos se introduzcan y se retiren de la solución mientras este circulando la corriente. (pp. 287, 291).

Cal destacar que el titani té un cost elevat, però la seva vida útil és més prolongada, fet que rendibilitza la inversió.

En resum, les subjeccions han de garantir: una bona subjecció, el contacte elèctric entre la font d'alimentació i la peça a anoditzar, la immersió

84 Per tal d'eliminar de manera més eficaç la sosa càustica residual, després del desanoditzat, podem submergir la fixació en una dilució al 20 % p/p d'àcid nítric (15 min) (Henley, 1982, p.46).

completa de la peça en el bany electrolític i no contaminar la solució.

En les directrius de qualitat Qualanod (2020) s'especifiquen els gruixos mínims d'aquests elements de subjecció:

Las barras soporte de aluminio, sumergidas en el electrolito, deberán tener una sección superior a 0,2 mm²/amperio. El titanio, menos conductor, exige secciones más gruesas. (p. 37)

Un cop seleccionat el material del sistema de subjecció, Leopold (1990) recalca la importància d'analitzar la forma de l'objecte, per tal de triar la posició i els punts de contacte per on s'enganxarà amb el jig i quina serà la posició més adequada en relació amb la cubeta i la resta d'elements que acull; també cal identificar si la peça consta de parts buides, per tal d'evitar que quedin en posició convexa, fet que es traduiria en possibles bombolles d'aire atrapades en contacte amb la superfície i per tant, possibles imperfeccions en la capa i en l'acumulació de les dissolucions dels banys en les cavitats, fet que provoca contaminacions indesitjades a causa del trasllat de la peça d'una cubeta a una altra (pp. 23-26).

- Barra de distribució. L'extrem oposat al que fa contacte amb la peça o les peces dels racks i els jigs, aquests guarden similitud amb el ganxo d'una perxa; aquesta forma està pensada perquè puguin anar penjats d'una barra transversal. Aquesta barra, en la que va connectada al pol positiu de la font d'alimentació, fent les funcions d'element distribuïdor.

Donat que la seva tasca és la de tancar el circuit i distribuir l'electricitat, és lògic que aquesta haurà d'estar feta d'un metall transmissor, preferi-

blement d'alumini o de coure.

A més a més, la barra de distribució ha de tenir una secció raonable que permeti el pas del corrent de forma fluida i un bon contacte entre la seva superfície i la dels racks i jigs⁸⁵; ha de ser prou estable per a suportar l'agitació del bany i el pes de les peces que ha de subjectar i poder allotjar el volum de peces a tractar sense que es toquin entre elles, ja que, si la distancia entre peces no és suficient, l'electròlit que envolta les peces es pot reescalfar i provocar cremades en l'anoditzat o una pel·lícula de mala qualitat (Henley, 1982, p. 45).

- El sistema de control de temperatura. La temperatura del bany influeix d'una manera dràstica en el resultat a l'hora d'anoditzar (vegeu l'apartat 2.4.2_ *La temperatura*); les directrius de qualitat de la marca Qualanod (2020) aconsellen mantenir la temperatura recomanada per a cada electrolít, dins del marge de $\pm 1,5^\circ\text{C}$, essent el màxim tolerable l'increment en 2°C en les proximitats de l'ànode (p. 41); altrament, Stevenson (1994, p. 488) i Brace i Sheasby (1979, p. 100) restringeixen a $\pm 1^\circ\text{C}$ l'oscil·lació admissible. Per portar a terme aquesta funció s'utilitza el termòmetre i els mecanismes de refrigeració.

· Termòmetre. Per tal de controlar aquest interval és aconsellable utilitzar un termòmetre digital de precisió proveït d'una sonda resistent als efectes corrosius del procés.

⁸⁵ No s'ha trobat informació sobre els paràmetres dimensionals de la barra de subjecció; en tot cas ens remetem a la lògica de proporcions entre els diferents elements.

- Mecanisme de refrigeració. Per a mantenir la temperatura adequada del bany s'empren diversos sistemes que poden utilitzar-se per separat o complementar-se:

El termoregulador. Un dels més recomanats és el que utilitza un circuit tancat de refrigeració, controlat per un termoregulador, pel qual recircula aigua o un líquid refrigerant; aquest és un sistema molt eficient, mantenint a una temperatura òptima el bany i evitant el malbaratament i la contaminació d'aigua (Canals, 2009, 129).

El "bany maria invers". Existeixen altres mecanismes de regulació, però com el de circuit tancat, necessiten una inversió que pot ser elevada; per aquest motiu, un mètode més rudimentari, com és el del "bany maria invers", pot ser una solució de baix cost i de mínima infraestructura. Aquest sistema se centra en les bases del bany maria tradicional, la transmissió de la temperatura d'un líquid d'un recipient a un altre més petit, situat en el seu interior, que pot contenir sòlids o líquids; es considera invers, quan en lloc de voler escalfar el contingut del recipient petit, es pretén refredar-lo. Per a dur a terme aquest sistema, s'ubica la cubeta del bany electrolític dins d'un recipient més gran que conté aigua, al qual se li pot afegir aigua freda o gel quan correspongui. El recipient exterior ha de tenir unes proporcions adequades en relació amb la cubeta interior i ha de contemplar l'augment del volum inicial de líquid, propiciat per l'addició d'aigua en estat líquid i/o sòlid. Cal puntualitzar que aquest recurs no és el més eficient, però pot permetre obtenir resultats satisfactoris a partir d'una infraestructura reduïda i de baix cost.

L'agitador. El constant moviment de l'electròlit propicia la renovació de la dissolució que està en contacte amb l'ànode, a la vegada que dissipa l'excés de temperatura que es produeix en la seva superfície; si no s'aconsegueix aquesta agitació, l'anoditzat resultant pot ser de baixa qualitat⁸⁶.

El difusor d'aire. Amb aquesta finalitat, la de regular la temperatura, es pot emprar un sistema de difusió d'aire (aquest ha de ser net, sense olis ni impureses) situat en el fons del recipient, accionat per un compressor o una bomba d'aire o es poden crear turbulències hidràuliques que produeixin el moviment necessari utilitzant un sistema mecànic de rotació (Canals, 2009, pp. 123-124).

- El sistema de control de pH. En la preparació de les solucions i en els posteriors manteniments d'aquestes, és necessari controlar i modificar quan pertoqui, l'acidesa o l'alcalinitat dels banys per tal d'adaptar el pH a les corresponents necessitats. És per tant necessari fer servir recursos que permetin la lectura del pH. En aquest sentit, es pot disposar de tires de pH, pràctiques però d'un sol ús o d'un "tester" digital, de manteniment més complex, però reutilitzable.

2.6.2.2_Procés d'anoditzat amb electròlit d'àcid sulfúric

Un cop completat el primer cicle de neteja de les peces a anoditzar i cal-

⁸⁶ Cremat de la capa anòdica: "Formación de capas pulverulentas blancas (harinado) sobre la capa anódica, debido a un sobrecalentamiento local durante la anodización" (AENOR, 2017).

culats els paràmetres (densitat o tensió) segons la superfície a tractar, aquestes es connecten al seu corresponent jig i ja es pot inici l'anoditzat.

Per l'anoditzat amb àcid sulfúric, LaPlantz (1988, 1989) i les empreses Ti-foo (s.d.) i Caswell (2003), estableixen la seqüència d'operacions següent:

- Adoptar els sistemes de protecció adequats: roba de treball, davantal impermeable, protecció facial i calçat i guants que ofereixin protecció química i elèctrica.
- Comprovar la temperatura i el pH de l'electròlit.
- Dur a terme les actuacions pertinents de refrigeració i modificació del pH si s'escau.
- Activar el sistema d'agitació.
- Connectar la font d'alimentació per tal d'evitar que la dissolució d'àcid sulfúric ataqüi les subjeccions, en el cas que aquestes siguin de titani.
- Assegurar-se de l'ús de guants apropiat, essent conscients que el circuit ja disposa d'electricitat.
- Amb la protecció d'uns guants apropiats, introduir les peces a anoditzar⁸⁷.

⁸⁷ Henley (1982) recomana reduir el flux elèctric inicial establert en la font d'alimentació i augmentar-lo gradualment, també insisteix en no incrementar-lo en excés i posteriorment, reduir-lo durant l'operació, provocant d'aquesta manera que la capa barrera ja existent ocasioni interferències en el flux (p. 62). És un descuit habitual, quan s'utilitzen fonts d'alimentació de regulació manual, introduir les peces sense tenir en compte que en una se-

- Regular la font d'alimentació, aportant al circuit l'electricitat amb la intensitat necessària. En els primers minuts del procés (15 o 20 min), el flux elèctric minvarà, demandant regular l'amperatge o el voltatge, segons el paràmetre escollit com a constant per a restablir els valors requerits⁸⁸; aquest fenomen és conseqüència de la formació inicial de la capa d'òxid, la capa barrera.

- Controlar la temperatura del bany i si és necessari, regular el sistema de refrigeració o activar-lo o desactivar-lo.

- Vigilar les variacions del flux elèctric i regular si s'escau. Un cop establitzat el flux, aquest es mantindrà constant durant un període de temps determinat; s'entén que durant aquest període, la capa barrera va creixent més lentament, a la vegada que es comencen a formar el porus. A mesura que la capa porosa es va constituint, el flux tornarà a variar, augmentant-ne el valor i si s'escau, reclamant una nova actuació.

- Regular de nou l'amperatge; en aquest moment del procés, els porus representen una escletxa en la cobertura aïllant, deixant passar a través d'ells, el corrent elèctric.

qüència d'anoditzat anterior, a causa de les variacions en el flux elèctric que es produeixen durant el procés, s'ha anat augmentant l'amperatge o el voltatge per a equilibrar les pèrdues. En conseqüència, la intensitat inicial de la nova seqüència serà massa elevada; si a aquest fet li sumem que, si es vol anoditza varies peces a la vegada, aquestes s'introdueixen en el bany d'una en una: la primera rebrà una descàrrega excessiva que podrà derivar en defectes en la capa anòdica.

⁸⁸ Si en l'experiència s'utilitza una font d'alimentació regulable, aquesta modificarà automàticament els valors de la variable segons les necessitats del circuit.

- Controlar de nou la temperatura del bany i si és necessari, regular el sistema de refrigeració, o activar-lo o desactivar-lo.
- Un cop transcorregut el temps designat com a necessari per a completar el procés i per tant, el recobriment anòdic requerit, retirar les peces de la cubeta, interrompent el circuit i en conseqüència, parant el tractament.
- Procedir a desconectar la font d'alimentació.

Flux de càrrega elèctrica i temps de durada del procés

Per a establir els paràmetres de treball adequats es poden realitzar unes primeres provatures per a fer una posada a punt i determinar-los (vegeu apartat 3.2.3.4_*Posada a punt del laboratori*).

Les fonts consultades determinen que la durada del procés dependrà del gruix d'oxidació que es vulgui obtenir, sempre que els paràmetres de treball siguin els mateixos en cada cas.

LaPlantz (1988) exposa que segons la seva experiència, en el cas d'una peça petita de joieria, el temps d'anoditzat se situa entre 15 i 20 minuts. En canvi, per a peces més grans, recomana 1 hora (p. 104). Wernick i Pinner (1966) aporten dades més concretes: en un electròlit d'àcid sulfúric al 20 % p/p a 21 °C, el temps necessari per a obtenir un gruix de 25 µm, si s'apliquen 1,5 A/dm², és de 60 minuts; en el cas que aquest gruix sigui inferior de 15 µm, però amb les mateixes condicions, el temps estimat és de 35 minuts (p. 308). Brace i Sheasby (1979) exemplifiquen la influència que té en el temps i en el resultat del recobriment la concentració de l'electròlit en un temps de 60 minuts, utilitzant dos electròlits d'àcid sulfúric amb

concentracions diferents: una del 30 % p/p i una altra al 15 % p/p, a la temperatura de 30 °C. En el primer s'obtindrà un recobriment més prim que en el segon a causa de la redissolució que sofreix l'òxid d'alumini anòdic (p. 118).

En tot cas, es tenen a disposició certes regles que poden ajudar a determinar els valors d'aquestes variables. L'empresa Tifoo (s.d.), que comercialitza un electròlit preformat d'àcid sulfúric (Eloxal-Elektrolyt), aporta la següent pauta per a calcular l'amperatge total necessari per a l'operació:

$$(\text{superfície en}) \text{ dm}^2 \times 1,5 \text{ A}$$

$$=$$

$$(\text{superfície en}) \text{ cm}^2 / 1000 \times 1,5 \text{ A}$$

Altrament, sí l'amperatge no es defineix des d'un inici, experts com Chesterfield (2008) i Westre (2017) proposen, fer servir la "Regla del 720" per a calcular-lo, que es fonamenta en el fet que són necessaris 720 Amperes/minut per aconseguir un gruix de 1,0 mil en una superfície d'un peu quadrat⁸⁹ (ft²) o la "Regla del 320", que dicta que calen 320 Amperes/minut per obtenir el mateix gruix (25 µm) en un m². Aquestes regles també ens orienten sobre el temps que serà necessari invertir en l'anoditzat, segons l'àrea de la peça. Cal puntualitzar que aquestes regles estan formulades per a ser aplicades quan s'anoditzen aliatges que responen favorablement al tractament⁹⁰ (vegeu l'apartat 2.4.6_*El tipus d'ànode. L'alumini i els seus*

89 Un mil és la mil·lèsima part d'una polsada i equival a 0,0254 mil·límetres, 25 µm. Un peu quadrat equival a 0,093 metres quadrats.

90 Aquestes regles són fiables en aliatges recomanats per a anoditzar, com el 6061 i el 6063. Segons Grubbs (1999) seria fiable amb tots els aliatges de forja menys els de la sèrie

aliatges en l'anoditzat).

Regla del 720

Temps d'anoditzat = mils de recobriment desitjat x 720 / densitat del corrent⁹¹

$$\text{min} = \text{mils} \times 720 / A/\text{sf}$$

Regla del 320

Temps d'anoditzat = μm de recobriment desitjat x 3,12 / densitat del corrent

$$\text{min} = \mu\text{m} \times 3,12 / A/\text{dm}^2$$

2xxx (p. 72). Així i tot, és una regla que pot servir d'orientació.

91 El "mil" és una unitat de mesura del sistema anglès que equival a la mil·lèsima part d'una polsada.

2.6.3_Cicle de neteja i segellat

Després de l'anoditzat és imperatiu efectuar un altre cicle de neteja, evitant d'aquesta manera, que l'àcid sulfúric de l'electròlit ataqüi la superfície tractada i posteriorment, si es dona per finalitzada l'actuació sobre la peça, un bany de segellat per a obturar els porus (Qualanod, 2020, p. 42); si pel contrari, la intenció és dotar-la de color, es posposa el bany de segellat fins després d'acabar l'operació d'acolorat (vegeu l'apartat 2.7.5_ *Segellat del bany de color*).

2.6.3.1_Rentat i neutralitzat

Un cop extreta la peça del tanc d'anoditzat es porta a terme el segon cicle de neteja:

- Un primer bany d'aclarit en una cubeta amb aigua. L'empresa de pigments especials per a anoditzar Clariant Plastics & Coatings Ltd (2018b) dona una especial importància a l'aclarit després de l'anoditzat, sobretot si es pretén practicar un acolorat; insisteix en la importància de remoure la peça dins del tanc i recomana utilitzar un sistema de vàries cubetes per a efectuar un esbandit escalonat basat en múltiples immersions⁹² (p. 13).

92 La mateixa empresa posa en relleu que la presència de restes d'àcid sulfúric pot alterar la química del bany d'acolorat (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, p.3). LaPlantz (1988) sotmet la peça anoditzada, després de cada bany de rentat, a un esbandit exhaustiu amb aigua corrent (pp. 106-109), mentre que Fuertes (comunicació personal), gerent de l'empresa AFV Inicia, especifica la neteja amb aigua corrent després de cada bany químic (6 de setembre de 2020).

- Tot seguit, es deixa la peça en immersió durant aproximadament 2 minuts, en un bany de neutralitzat que conté aigua i bicarbonat de sodi (NaHCO_3).
- A continuació, un bany opcional de neutralitzat àcid. El bany presenta una dissolució d'àcid nítric al 10 % p/p en la majoria dels casos. Aquest bany permet netejar en profunditat el porus anòdics que després de l'anoditzat contenen sulfats provinents de l'electròlit, expulsant els residus que el bicarbonat de sodi, a causa de la mida de la seva molècula, no ha pogut eliminar (Albert, 2004, p. 457). És aconsellable no superar els dos minuts d'immersió de la peça anoditzada per evitar pèrdues en la superfície d'òxid; Stiles (2010) situa el temps d'exposició en 1 minut (p. 17). Mitjançant aquest bany s'aconsegueix buidar totalment els porus i per tant, si l'objectiu és l'acolorat, permetrà emplenats més eficients⁹³.
- Finalment, un esbandit amb aigua desionitzada; aquest, primerament, s'aplica per immersió de la peça en el tanc d'aigua i a continuació, amb l'ajuda d'una botella de rentat, es procedeix a un repassat final aplicant un raig a pressió. Aquest últim esbandit a pressió permet insistir sobre les zones amb textura i els racons de més difícil accés.

⁹³ Encara que és un bany que a vegades no s'utilitza per al neutralitzat, és habitual el seu ús per a reactivar el revestiment anòdic quan, per motius relacionats amb els excessius aclarits, aquest ha estat hidratat en excés o quan no es du a terme el procés de forma àgil i continuada, deixant exposada la peça a la humitat ambient. Per a aquesta funció, el percentatge de la dilució d'àcid nítric pot variar entre el 10 i el 30 en pes, essent la seva temperatura la que proporciona l'ambient i el temps d'actuació entre 10 segons i 2 minuts (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, pp. 3-4; Jozefowicz, 2001, p. 105).

2.6.3.2_Segellat

Tant Hoar i Wood (1962, p. 334) com Bautista et al (1998b, p. 33) indiquen que un cop creats els porus anòdics, aquests s'han de segellar per dotar a la superfície d'una elevada resistència a la corrosió, però també per a eliminar la seva capacitat d'absorció, evitant la penetració d'impureses i mantenint la superfície neta. El segellat també és essencial per a conservar el color després de l'acolorat (vegeu l'apartat 2.7.4_*Segellat del bany de color*).

Els mètodes més comuns, utilitzats per a realitzar el segellat, són els d'hidratació i els d'impregnació.

- El segellat per hidratació. Aquest procés de segellat actua a partir de la immersió de la peça anoditzada en aigua calenta a una temperatura lleugerament inferior al punt d'ebullició (96-99 °C), durant un temps estimat d'entre 2 i 4 minuts per μm de gruix (Henley, 1982, pp. 91-93). Aquest procés propicia la transformació de l'alúmina amorfa de la capa porosa en alúmina hidratada, acomplint amb el taponament dels porus (Wernick i Pinner, 1966, p. 397; Albert, 2004, pp. 457-458). Algunes pràctiques han centrat la seva atenció en les possibilitats que ofereix el segellat amb vapor d'aigua com a alternativa a la immersió (Wood, 1959, p. 224).

- El segellat per impregnació. Aquest se centra en la conversió química de l'alúmina en sals d'alumini, afegint al bany certes sals, com els acetats i els sulfats (Wood, 1959, p. 224; Albert, 2004, 458). Dins d'aquest mètode també s'ha experimentat amb el "segellat fred" amb additius orgànics i inorgànics, utilitzant temperatures situades entre la temperatura ambient

i els 50 °C, cosa que permet reduir els costos relacionats amb les temperatures elevades i el temps d'immersió; tanmateix, aquests tractaments demanden un posterior envelliment natural del segellat⁹⁴ per arribar als barems de qualitat exigits, incrementant considerablement el temps de producció⁹⁵ (Bautista et al, 1998a, pp. 58-60).

Entre els factors a considerar es troben:

- El pH, el qual és molt important que es mantingui entre 5,5 i 6,5 perquè, en el cas d'haver acolorat la peça, pot provocar el lixiviat del colorant usat (Wood, 1959, p. 225; Wernick i Pinner, 1966, p. 420);
- I el control de l'aigua utilitzada en el bany, procurant en tot moment que el contingui d'impureses sigui el mínim possible, essent recomanable utilitzar aigua desmineralitzada (Brace i Sheasby, 1979, pp. 218-219, 221).

Finalment, independentment del sistema de segellat escollit, la peça s'esbandeix i es brunyeix amb un drap per a eliminar possibles residus superficials.

94 Un cop s'ha dotat a l'alumini de la pel·lícula porosa, aquesta sofreix canvis. Aquests canvis s'engloben dins del concepte d'envelliment i poden ser espontanis o per altra banda, ser provocats a partir dels corresponents postractaments. Tenint en compte que l'envelliment natural és capaç d'activar-se en condicions atmosfèriques comunes, un segellat insuficient seguirà evolucionant fins a millorar la seva qualitat de manera espontània, podent superar posteriorment els assajos de qualitat (Bautista et al, 1999, pp. 200-201).

Estudis com el d'Escudero et al (2005) demostren que l'alumini anoditzat té la capacitat de desenvolupar un autosegellat, a partir de la humitat atmosfèrica, amb prestacions similars o superiors al segellat industrial.

95 Aquest inconvenient es pot solucionar realitzant un segellat en dos passos; un primer segellat en fred (25-30 °C) i un segon segellat en calent (60-70 °C). (Qualanod, 2020, pp. 43-45).

Un cop realitzat el segellat es poden utilitzar diversos mètodes per a valorar el resultat obtingut, essent el més senzill i d'evidències visuals immediates, l'assaig d'"absorció de la gota de colorant", el qual es practica dipositant un glòbul líquid que conté partícules d'un colorant fosc; aquest només és eficient en anoditzats sense acolorar o en acolorats clars. Altres assajos són els de "pèrdua de pes" i d'"admitància", considerats els més exigents, i sobre els quals es pot trobar informació en la bibliografia especialitzada (Qualanod, 2020, p. 25).

2.7_L'acolorat. Els banys de color

La coloració per impregnació estàndard s'efectua a partir de la immersió de l'alumini en un medi aquós que conté algun tipus de colorant.

Els banys per immersió ofereixen coloracions homogènies, ja que la peça se submergeix en el bany de colorant; en aquesta situació, en el cas d'utilitzar pigment, aquest envolta tota la seva superfície i s'introdueix en els porus de l'anoditzat. És el recurs més utilitzat en l'anoditzat decoratiu industrial.

2.7.1_Els colorants

Abans d'entrar en els principis i les variables que intervenen en l'acolorat i per evitar una possible confusió a la qual ens pot portar la literatura especialitzada en el tema, en relació amb els termes en anglès emprats per a definir certs conceptes⁹⁶, hem cregut convenient delimitar el significat dels tres termes relatius als sistemes d'obtenció del color mitjançant la impregnació: "colorant", "pigment" i "tint".

Segons Shore (2002):

All dyes and pigments are colorants: when present on a substrate they selectively modify the reflection or transmission of incident

⁹⁶ En la cerca de literatura relacionada amb el tema d'estudi, la majoria dels documents especialitzats es troben en anglès.

light. During application to a substrate, a dye either dissolves or passes through a state in which its crystal structure is destroyed. It is retained in the substrate by adsorption, solvation, or by ionic, coordinate or covalent bonding. A pigment, on the other hand, is insoluble in and unaffected by the substrate in which it is incorporated. (p. 1)

Les referències i la bibliografia consultada (Buxbaum, 1998; Herbst i Hunger, 2004; Lewis, 1998; Pedrola, 2019), coincideixen en la definició de pigment i, no menys important, en el terme⁹⁷.

Pel que fa al tint (*dye*) és més complicat. Tot i que sembla quedar clar que es caracteritza per ser soluble en aigua o en dissolvents orgànics i en conseqüència, són els medis els que adquireixen el color fent desaparèixer la seva estructura cristal·lina o particulada (Herbst i Hunger; 2004, p. 1), en alguns documents especialitzats, com per exemple “Industrial Dyes. Chemistry, Properties, Applications”, del qual n'és l'editor Klaus Hunger (2003), poden portar a confusió, si més no, als menys avesats en la matèria, per la doble lectura de la paraula “dye”, que segons la intenció amb què s'utilitza pot significar colorant o tint. Per tant, en el mateix document, podem llegir “disperse dyes”, que es podria traduir com a “colorants dispersos” o “tints dispersos” o “solvent dyes”, que pot referir-se a “colorants solubles” o “tints solubles” (p. 6). Està clar que per als experts en la matèria, aquesta semàntica no té per què portar a confusions.

⁹⁷ Herbst i Hunger (2004) amplien l'espectre de possibles pigments, matisant la insolubilitat dels pigments a “pràcticament insolubles” (p.1).

Per altra banda, podem trobar algunes traduccions a l'espanyol de llibres en anglès, com per exemple, la quinta edició revisada i ampliada del famós llibre de Mayer (1930/1993) “Materiales y Técnicas del Arte”, que també poden generar dubtes:

Cuando un pigmento se muele y se mezcla con un vehículo líquido para formar una pintura, no se disuelve sino que queda disperso o suspendido en el líquido. Las sustancias que se disuelven en líquidos e imparten su color a los materiales al ser absorbidos se llaman tintes o colorantes (p. 26).

Com hem pogut comprovar, en el text original en anglès del mateix llibre de la primera edició de 1930 i en la mateixa edició revisada del 1970, Mayer no defineix si, quan està emprant la paraula “dyes”, es refereix a colorants o a tints:

When a pigment is mixed or ground in a liquid vehicle to form a paint, it does not dissolve but remains dispersed or suspended in the liquid. Colored substances which dissolve in liquids and impart their color effects to materials by staining or being absorbed are classified as dyes. (1930, p. 35; 1970, p.32)⁹⁸

En el cas que l'autor s'estigués referint als colorants, aquest inclouria tant tints com pigments, fet que aniria en desacord amb l'explicació del text i la característica elemental d'un pigment, ser indissoluble.

⁹⁸ En la primera edició, els termes “colored” i “color” s'escriuen “coloured” i “colour” respectivament, pel fet d'estar escrita en anglès americà.

Sembla doncs que el terme dyes pot portar a confusions, sobretot quan se'n fa la traducció sense aprofundir en el context.

En conseqüència, quan entrem en l'estudi i l'aplicació d'un procés en el qual es pretén donar color a un material, la utilització d'aquesta errònia/ involuntària sinècdoque, pot portar a utilitzar termes imprecisos.

Els termes “tenyit” o “tintat” (*dyeing* o *dyeing process*) són amplament utilitzats en el conjunt d'accions que es relacionen amb aplicar o donar color a una superfície o un material absorbent, especialment amb les referents a l'àmbit tèxtil⁹⁹. Però, sembla que si prestem atenció a l'arrel del verb “tintar”, aquesta acció s'adequa més a l'“aplicació de tints” que a la de pigments. El terme en anglès d'aquesta acció, “dyeing”, pot portar a embolics quan es relaciona amb aportar color a l'alumini mitjançant l'anoditzat; és comú trobar-la en els escrits en aquest idioma que fan referència a l'acolorat, en el qual es poden emprar tints i pigments.

Per no allarga'ns, aclarirem quins són els termes que hem optat per utilitzar i el seu significat concret en aquest treball.

S'entendrà per:

- “colorants”, al conjunt format pels pigments i els tints;

99 Tant és així que les “tintories”, que anteriorment feien referència exclusiva a les instal·lacions on es tenyia el material tèxtil, avui en dia també s'associen als establiments que s'encarreguen de la neteja, el planxat i el manteniment de les peces de vestir entre d'altres.

En l'àmbit de l'escultura, tant en les produccions en fusta com en materials tèxtils, el tenyit, és una pràctica recurrent per a aportar coloracions.

- per “coloració” i “acolorat”, al procés, a l'acció o el resultat, d'aplicar color a una superfície a partir de pigments o tints entre d'altres;

- per “pigment”, a les partícules sòlides colorants insolubles en el medi en el qual s'incorporen;

- per “pigmentar”, al procés, acció o resultat de dipositar un pigment¹⁰⁰;

- per “tint”, a les partícules colorants solubles;

- i per “tintar” o “tenyir”, al procés, acció o resultat d'aplicar un tint.

100 La finalitat bàsica d'un pigment és pigmentar, adherir-se a una superfície per tal de proporcionar-li color (Pedrola, 2019, pp. 23-24). Altres funcions que s'associen als pigments són, per exemple, la protecció anticorrosiva o lumínica i captació fotosintètica.

2.7.2_Els pigments i l'acolorat per impregnació

El pigment reflecteix i absorbeix certes ones de llum donant com a resultat un color¹⁰¹. Si dispersa la gran majoria de la llum és un pigment blanc; en canvi, si absorbeix gran part d'aquesta, el pigment és negre; si l'absorció i la dispersió són selectives, s'obtenen els diferents pigments de colors (Buxbaum, 1998, p. 18).

Les característiques físiques i químiques que classifiquen i defineixen un pigment són:

- Físiques: la mida i la forma de la partícula¹⁰², la capacitat de dispersió en un medi, la densitat i el pes específic¹⁰³, el comportament del pigment amb l'aglutinant (dispersió)¹⁰⁴ i del pigment amb altres pigments.

- Químiques: la composició química, l'índex de refracció, la força de co-

101 El color pigment es refereix al color quant a matèria, es pot tocar, es basa en la sotstracció; en canvi, el color llum és intangible, no existeix com a tal, només podem percebre'l amb la mirada, es basa en l'addició (Parramón, 1988).

102 Granulometria. Bermúdez (2001) ens defineix la granulometria, en relació amb els pigments, de la següent manera: "es la técnica que determina el tamaño y forma de las partículas de pigmento, propiedades que determinarán la distribución de un pigmento en la película pictórica, su poder cubriente y su índice de refracción y reflexión de la luz" (pp. 100-101).

Les dimensions de les partícules de la majoria de pigments és d'1 µm, podent ser en alguns casos d'entre 3 i 5 µm (Herbest i Hunger, p. 25).

103 La mida de la partícula, la solubilitat i la densitat i el pes específic poden ser factors que influeixin en la resistència a la migració del pigment. Si aquesta resistència no és adequada, ens podem trobar en situacions de decantació o flotabilitat, i de sagnat.

104 La capacitat que té el pigment per repartir-se uniformement en el medi on es troba.

loració, el color (to), el poder cobrent, la seva estabilitat (a la llum i a la temperatura) i la resistència als productes químics (Calvo, 2009, pp. 16-18).

Els pigments es poden classificar, segons el seu origen en orgànic i inorgànics i dins d'aquests dos grups, podem trobar els naturals i els sintètics¹⁰⁵.

En la present recerca, ens hem centrat en les possibilitats que ens ofereixen els pigments orgànics sintètics¹⁰⁶ en la coloració per impregnació. L'extens catàleg de pigments d'aquest tipus brinda un ampli ventall de possibilitats d'acoloriment que sobrepassa amb escreix a les que ofereixen els pigments orgànics naturals i els inorgànics.

- Estabilitat de la coloració aplicada

105 La base de dades reconeguda a escala internacional, la Colour Index International, creada per la Society of Dyers and Colourists (SDC) del Regne Unit i l'American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) dels Estats Units, recull més de 34.500 colorants. A cada un d'aquests se li adjudica un nom genèric que indica si és un tint o un pigment i de quin tipus es tracta (àcid, bàsic...), també n'especifica el to (groc, verd, vermell...) i mostra el número que se li ha atorgat en el moment que s'ha inscrit en aquesta base de dades. El nom genèric es complementa amb un número de constitució que se situa entre el 10.000 i el 78.000, que dona informació sobre la seva composició química i pot anar complementada amb la identificació del seu descobridor, les patents més rellevants i les referències bibliogràfiques (Espinoza, 2008, pp. 17-21; Society of Dyers and Colourists [SDC], s.d).

106 Aquest tipus de pigments provenen de compostos orgànics (els principals són: el benzè, toluè, xilè, naftalè i antracè), que, mitjançant processos de síntesi, tèrmics i/o químics són modificats per a transformar-los en grans estructures químiques complexes que ofereixen millors propietats químiques i físiques (Hernández, 1999, p. 29; Wanser, 1997, pp. 3-5). Els pigments orgànics sintètics es divideixen en diversos grups, però els dos més importants són: els azoics, que proporcionen grocs, taronges, vermells i marrons i els policíclics, que cobreixen els verds i els blaus (Junji, 2015, p. 5). D'aquests pigments, Mayer (1993) en ressalta la seva intensitat i brillantor (p. 28).

Un dels inconvenients a llarg termini, en alguns casos i a curt en d'altres, és l'estabilitat de l'acolorat quan aquest s'exposa a la llum i als agents atmosfèrics.

La majoria de pigments orgànics són molt sensibles a la radiació lumínica. Els raigs de la llum solar (particularment els ultraviolats) i la llum artificial poden provocar l'envelliment de la superfície tractada; per tant, alteracions amb el pas del temps del resultat obtingut.

El grau de solidesa a la llum d'un pigment defineix, en primera instància, l'estabilitat del color i de la brillantor que aporta a la peça acolorada. Aquest grau de resistència a la llum solar també inclou l'estabilitat davant les temperatures elevades i la resta de factors climàtics (Stevenson, 2016, par. 3).

La corrosió deguda als factors ambientals i a la contaminació que acompanya a aquests factors de forma inherent en certs entorns, així com a la brutícia que es pot acumular en les superfícies d'alumini acolorat, tenen conseqüències similars a les que es deriven de l'exposició als raigs ultraviolats, però a aquestes s'hi sumen, entre d'altres, l'aspecte desigual del color i l'enfosquiment¹⁰⁷ i de forma genèrica en els anoditzats, les picades per corrosió (Kaufman, 2005, pp. 112, 119-18; Short, 2003; Short i Bryant, 1975, p. 172).

107 La empresa Altus (2021), en allò relatiu a l'acumulació de sediments sobre la superfície anoditzada, recomana practicar neteges regulars de les superfícies amb aigua calenta i un sabó suau i que aquesta pràctica es dugui a terme en ambients rurals cada sis mesos, en urbans cada tres mesos i en industrials i marins tres vegades per mes i una vegada al mes, un rentat amb aigua freda (par. 48-50).

A causa d'aquestes possibles alteracions, és habitual catalogar els pigments que s'utilitzen per a donar color a l'anoditzat, en aptes per a interior o per a exterior. Aquestes especificacions poden venir indicades en les fitxes tècniques del fabricant, essent de l'1 al 8 o de l'1 al 10 els valors utilitzats per a expressar la seva aptitud¹⁰⁸ (Chesterfield, 2015, par. 13). L'empresa AFV Inicia (s.d.), exposa, que segons la ISO 2135:2010, els colors orgànics per a exterior han de superar el valor de 8 sobre 10, en l'escala de resistència a la radiació solar, mentre que els colors orgànics per a interior, el seu valor ha d'estar entre 6 i 8.

Al valor d'aquesta escala, que s'associa a cada pigment, s'hi ha de sumar el gruix de la capa d'òxid, la quantitat de pigment dipositat i la penetració d'aquest en el porus i el segellat, a més a més de les variables del bany de color (vegeu l'apartat 2.7.3_ *Variables en la preparació i aplicació del bany de color*), ja que també són factors determinats que influeixen en la solidesa a la llum, però també a la resta de factors atmosfèrics de la coloració aplicada (AAC, 2013b, p. 4; Chesterfield, 2015, par. 3-12; Heber, 2015, p. 9).

108 L'empresa Clariant Plastics & Coatings Ltd (2018a) especifica sota quins factors han estat realitzades les proves de resistència a la llum; per tant, aquests valors seran alterats segons els factors utilitzats pel consumidor: "the light fastness ratings relate to ISO 2135 and ISO 105B02 and where done with deep shades at 12 µm anodized oxide layer thickness as described in our technical literature and do not necessarily refer to the illustrated plates in this shade card" (par. 8).

2.7.3_ Variables en la preparació i aplicació del bany de color

Atenint-nos a diferents autors, podem descriure un conjunt de factors amb una incidència destacada en el bany de color: el colorant utilitzat, la concentració de la dissolució, el medi i el pH d'aquesta dissolució, la temperatura del bany i el temps d'immersió.

En els pigments comercials, formulats per a ser emprats en l'anoditzat decoratiu, els paràmetres relacionats amb els factors per a establir unes condicions idònies són indicats per l'empresa productora. Per altra banda, en els pigments aliens al procés no es disposa d'aquestes instruccions; en aquest cas, una sèrie d'assajos permet definir el valor de les variables.

La concentració del pigment.

Les concentracions, en relació amb el medi, dels pigments formulats especialment per a l'acolorat de l'alumini anoditzat, seran definides pel fabricant. La tonalitat més fosca i la més clara indicades, que corresponen, respectivament, a la màxima i la mínima concentració recomanades per a cada un dels pigments, també estaran supeditades al temps d'immersió en el bany.

Superar els grams per litre recomanats per a obtenir la tonalitat més fosca, no comporta millors resultats i encareix el procés innecessàriament, atès que aquest valor fixat per l'industrial ja considera la intensitat màxima que es pot aconseguir. Les instruccions del producte indiquen que cal reposar el pigment del bany a mesura que aquest vagi sent absorbit pels acolorats.

Tanmateix, per a obtenir tonalitats més clares, les concentracions poden ser modificades depenent de les limitacions del colorant.

El medi - l'aigua / El pH

El medi en el qual es preparà la suspensió de pigment és aquós. La composició de l'aigua i el seu pH influeixen en la formulació dels banys. Wernick i Pinner (1966) aconsellen emprar aigua destil·lada per evitar la possible precipitació del colorant esdevinguda per la utilització d'aigües amb nivells importants de minerals (aigües dures) (p.378).

El pH repercuteix sobre manera en l'absorció del pigment i la posterior estabilitat del color (Heber, 2015, p. 10). L'empresa Clariant Plastics & Coatings Ltd (2018b) explica de la següent manera, el perquè de la importància del valor del pH en els banys d'acolorat:

As a rule the adsorptive capacity of the anodic coating increases with decreasing pH value, since the higher hydrogen ion concentration supplies a greater area of positively charged surface to which the negatively charged anionic dye is attracted and adsorbed.

There is however a lower limit to the permissible pH, since partial dissolving of the coating sets in below pH 4. Even at values above pH 4 minute amounts of aluminum may be dissolved which form precipitates or partially inactivate the dye. Moreover at such low pH values certain dyes are chemically unstable or precipitate owing to the consequent decrease in solubility. (p. 18)

És habitual que el pH més convenient vingui indicat pel proveïdor, essent

els valors més comuns entre el 5 i el 6. En tot cas, el pH varia segons el tipus de colorant utilitzat i el color, podent sofrir posteriors alteracions a causa de l'ús natural dels banys o per possibles contaminacions. Tanmateix, és fàcil rectificar el seu valor mitjançant àcid acètic per a reduir-lo o hidròxid o acetat de sodi, per a augmentar-lo (Brace i Sheasby, 1979, pp. 178-179; Jozefowicz, 2001, p. 104).

La temperatura

La temperatura influeix en la velocitat d'acolorat i en la capacitat d'absorció de pigment (Heber, 2015, p. 9; Giles, 1979, pp. 49-50).

En els processos d'anoditzats realitzats amb àcid sulfúric, alguns banys d'acolorat poden ser "freds". Quan parlem de freds ens referim a banys a la temperatura ambient, entre 15 i 25 °C. Segons certes pràctiques dutes a terme per LePlantz (1988), l'acolorat amb banys "freds" proporcionen una ampla gamma de colors, "the cold dyes allow a full value range from the lightest, most subtle pastel, to a full, rich, dark shade" (p. 112), mentre que en calent el ventall és més limitat. Tanmateix, amb els freds, el temps d'immersió per ha obtenir els resultats buscats, augmenta.

Altres banys han de ser forçosament en calent, entre 65 i 70 °C (Wernick i Pinner, 1966, p. 374). Aquests tipus de banys requereixen un control acurat de la temperatura, ja que, si aquesta s'aproxima als 100 °C, durant l'acolorat, es corre el risc de segellar els porus obtinguts en l'anoditzat, eliminant la capacitat de l'alumini d'absorbir pigments¹⁰⁹ (Julve, 1993, p. 71).

109 Aquest fenomen s'anomena "segellat simultani".

En un terme mig, se situen les temperatures més habituals i fiables, entre 25 i 60 °C (Giles, 1979, p. 50).

El temps

Per aconseguir diferents tonalitats i fins i tot colors, amb el mateix pigment, es pot utilitzar la quantitat de pigment recomanada i modificar el temps d'immersió en el bany. Com és lògic, a més temps s'obtindran tonalitats més fosques i/o colors més intensos; altrament, els banys massa curts poden arribar a formar colors poc estables.

Les prolongacions del temps, més enllà d'una visible concentració màxima de color en la peça, és innecessària. Per altra banda, si la capa porosa resultant de l'anoditzat no s'ha format adequadament o és inexistent, per més que s'augmenti el temps en el bany d'acolorat, la peça no serà capaç d'adquirir color.

2.7.4_Procés / Aplicació dels banys de color

El procés d'acolorat a partir de pigments es desenvolupa en tres estadis:

1. Migration of the dyestuff molecules into the pores.
2. Adsorption at the outer surface of the anodic coating.
3. Diffusion from the outer surface through the mouth of the pore, along the pore walls into the interior of the coating. (Clariant Plastics & Coatings Ltd, 2018b, p. 6)

Aquests tres estadis es desenvolupen si l'anoditzat ha estat eficient, quasi instantàniament, quan la peça a pigmentar és introduïda en el bany d'acolorat.

La pràctica d'aquest procés, tal com indica LaPlantz (1988), s'estructura de la següent manera:

- Preparar els banys d'acolorat segons les indicacions del fabricant o a partir de les dades recopilades en l'experimentació prèvia.
- Ajustar el pH i propinar l'escalfor requerida amb l'ajuda dels mecanismes seleccionats.
- Submergir la peça a pigmentar el temps que es cregui oportú; per concretar el temps d'immersió, en relació amb la tonalitat del color, serà necessari realitzar amb antelació, proves que compreguin variacions en el temps d'immersió i si s'escau, modificacions en la concentració de pigment.

- Comprovar la tonalitat resultant practicant un esbandit enèrgic en aigua per eliminar el pigment no adherit als porus.
- Si és necessari, insistir en el pigmentat, submergint la peça tantes vegades com sigui necessari.
- En el cas de voler dur a terme una barreja de colors, realitzar esbandits insistents abans de la immersió en el següent bany de color.
- Un cop aconseguit la tonalitat buscada, esbandir vigorosament en aigua per a evitar contaminar el bany de segellat.

2.7.5_Segellat del bany de color

La informació recopilada sobre els possibles processos de segellat, després de l'acolorat, és l'exposada en l'apartat 2.6.2.3_*Segellat*.

Un cop esbandida exhaustivament la peça acolorada, deixant-la neta de possibles restes del bany de color, la superfície anoditzada manté els porus oberts; per tant, el segellat d'aquests serà essencial per tal que el color que ha adquirit la peça no desaparegui o a conseqüència del seu poder d'absorció, sofreixi alteracions i taques en la superfície (Brace i Sheasby, 1979, p. 217).

El segellat es pot portar a la pràctica a partir de diversos processos¹¹⁰, essent el d'immersió en aigua destil·lada calenta el més accessible.

Aquest procés hidrotermal hidrata l'alúmina anhidra ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) tapant els porus; el cristall que es forma encapsula quelcom que s'hi ha dipositat en l'interior. L'interval de la temperatura de treball del bany, adient perquè es produeixi aquest fenomen, se situa entre els 96 i els 100 °C (Brace i Sheasby, 1979, p. 220).

El pH de l'aigua indicat es troba entre 5,5 i 6; és a dir, que serà un pH neutre. Wernick i Pinner (1966), això no obstant, recomanen, per tal d'obtenir un segellat òptim, realitzar el segellat amb el pH entre 6 i 7 (p. 420).

Per tal d'ajustar el pH es pot utilitzar àcid acètic o fòrmic, si el valor és

110 El segellat amb dicromat, amb silicat sòdic, amb acetat de níquel/cobalt, etc.

massa alcalí o l'hidròxid de sodi (NaOH) si el valor és massa àcid (Le-Plantz, 1988, p. 76).

El temps d'immersió en el bany de segellat depèn del gruix de la capa anòdica i de la seva porositat; a tall de guia, segons Henley (1982), són necessaris entre 3 i 4 minuts d'immersió per cada μm de gruix de la capa anòdica (p. 93).

Un cop realitzat el segellat, Gabe (1975) informa que la pel·lícula resultant està formada per un 70 % d'alúmina Al_2O_3 , un 17 % d'aigua i un 13 % de restes de l'electròlit (d'àcid sulfúric entre d'altres) (p. 136).

La importància del segellat, a l'hora d'obtenir un bon acabat de la peça acolorada, ha incrementat l'estudi de segellats més eficaços que els obtinguts amb aigua calenta, per tal d'oferir alternatives òptimes. Entre els additius que se solen afegir a l'aigua, en el cas d'anoditzats decoratius realitzats amb àcid sulfúric, podem trobar: l'acetat de níquel i el de cobalt (Brace i Sheasby, 1979, p. 231; Wernick i Pinner, 1988, p. 397). En aquest cas, segons estudis realitzats per Speiser (1956, com es va citar en Wernick i Pinner, 1988), aquests additius aporten al segellat:

- 1) cerrado de los poros por hidratación, como el sellado en agua caliente;
- 2) precipitación de hidróxido en los poros por hidrólisis, lo que previene el sangrado de los colorantes;
- 3) reacción química entre el níquel y el cobalto y la molécula colorante para formar un nuevo complejo metálico. (p. 409)

Hi ha altres processos de segellat, aquosos i no aquosos, però en moltes ocasions, no són recomanats per als anoditzats decoratius per les variacions que poden produir en l'acolorat, com l'esgrogueït (en el cas del segellat amb dicromat), però sí per a superfícies orientades a aplicacions especials o que necessiten un grau de resistència superior a la intempèrie. (Brace i Sheasby, 1979, pp. 233-236; Wernick i Pinner, 1988, p. 402).