UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE BELLAS ARTES

Construcción y Deconstrucción del Plástico como Material Picto-Escultórico: Investigación con Nuevas Aplicaciones de Procedimientos Mecánicos de Fresado e Impresión en 3D

D. Pedro Alonso Ureña

2017

UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE BELLAS ARTES

Construcción y Deconstrucción del Plástico como Material Picto-Escultórico: Investigación con Nuevas Aplicaciones de Procedimientos Mecánicos de Fresado e Impresión en 3D.

Doctorando:D. Pedro Alonso Ureña
Director:D. Antonio García López

TESIS DOCTORAL
2017

Esta tesis ha sido realizada con la colaboración del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, y la Universidad de Guadalajara gracias a la beca **Fórmula Santander** concedida por la Universidad de Murcia, que hizo posible nuestra estancia en México. También colaboró el Centro de Artes e Comunicação y la Universidade Federal de Pernambuco, mediante la beca **Erasmus Mundus - Cruz del Sur** otorgada por la Universidad de Murcia, en la que pudimos ampliar conocimientos en nuestra permanencia en Brasil. Todas estas experiencias e inspiraciones culturales entre España, México y Brasil nos han abierto nuevos lenguajes y formas de entender el arte, obteniendo como resultado la presente tesis doctoral, dirigida bajo la tutela del Dr. Antonio García López.

Agradecimientos

A mi Director:
Dr. Antonio García López, por haber estado apoyándome desde el principio hasta el final, a pesar de la distancia.

A mis tres Universidades:
A la Universidad de Murcia, que ha sido la que me abrió las puertas y mi segundo hogar.
A la Universidad de Guadalajara (México), por acogerme y enriquecerme culturalmente.
A la Universidade Federal de Pernambuco (Brasil), por hacerme siempre formar parte de ella y establecer un intercambio de conceptos y metodologías.

A todos mis amigos por estar siempre cuando los necesito, pero sobre todo a mi familia por apoyarme en todo momento, mostrar siempre interés por mí trabajo y ayudarme a conseguir mis objetivos.

Resumen

Esta investigación aborda las posibilidades expresivas y el potencial de un material como el plástico, dentro del entorno picto-escultórico, y aplicado a la producción artística. Por medio de la introducción de las nuevas tecnologías en los procesos creativos, se explora la dualidad entre lo humano y lo tecnológico, diluyendo la barrera entre lo intangible y lo puramente material. En ese proceso tienen un papel destacado los distintos tipos de materiales con los que hemos investigado, tales como el PVC de calandra, el espumado y el PLA. Su novedad como materiales para el arte, nos ha permitido establecer un diálogo a distintos niveles, actuado como un punto y aparte entre los procesos industrializados, el empleo de máquinas, y el resultado final obtenido a partir de los métodos más artesanales.

La utilización de nuevos materiales en el Arte, da paso a nuestra particular forma de trabajo basada en el empleo de máquinas de control numérico computarizado (CNC), y en el concepto de deconstrucción asociado a los procesos sustractivos de la tradición escultórica. Pero no solo entenderemos la deconstrucción como una técnica de trabajo, sino que a nivel conceptual en nuestra investigación entran en juego las teorías de pensadores como Jacques Derrida o Roland Barthes.

A su vez, esas ideas de deconstrucción, nos llevará en contraposición también a interesarnos por los procesos más constructivos. Al hablar de la construcción nos debemos remontar a la historia de las máquinas, y su evolución en relación con la incorporación de los nuevos materiales. Del mismo modo, y ya en la parte práctica de nuestra investigación, la construcción vendrá vinculada a la idea de adición de materiales, y a su potencial tecnológico mediante las actuales máquinas de impresión en 3D.

Para centralizar nuestra investigación dentro del campo artístico, exploraremos la versatilidad plástica de estos materiales, sus usos y aplicaciones en sus diferentes campos de trabajo; y nos apoyaremos en las obras de artistas que de alguna manera han sido una fuente de inspiración técnica, conceptual o representacional, en relación a nuestra forma de entender el arte.

En la presente tesis encontramos en un mismo plano tanto los fundamentos teóricos investigados como los procedimientos artísticos, formando así un conjunto teórico-práctico cuya fortaleza desemboca en un proyecto artístico personal donde el propio material y sus procesos de manipulación, son los auténticos protagonistas. Pero esos procesos creativos requieren de una metodología empírica que les confiera validez académica y científica. Por todo ello, en el desarrollo de nuestra obra plástica tienen gran importancia el estudio previo, el registro de los pasos andados, y las fichas técnicas de los ensayos plásticos realizados. De este modo, los resultados alcanzados pueden ser fácilmente contrastados, e incluso pueden ayudar a otros en el futuro a continuar investigando a nivel artístico sobre los plásticos adaptados a máquinas de control numérico e impresoras en 3D. Consideramos que el conjunto de experimentaciones presentes en esta tesis, nos han permitido desarrollar un método de trabajo personal y plenamente inscrito en el ámbito artístico, al tiempo que los datos aportados, facilitarán el avance en una línea de trabajo que hasta el momento, consideramos que no había sido lo suficientemente abordada.

Palabras clave:

Deconstrucción, vacío, mecanizado, fresado, CNC, construcción, modelado en 3D, impresión 3D, FDM, PVC, PLA, transferencias, acumulación, chaquiras, arte huichol, electrólisis.

Resumo

Esta pesquisa aborda as possibilidades expressivas e potencialidades de um material como o plástico, relacionado ao tema picto-escultórico, e aplicada a produção artística. Através da introdução de novas tecnologias em processos criativos, se explora a dualidade entre o humano e o tecnológico, diluindo a barreira entre o intangível e o puramente material. Neste processo, tem destaque os diferentes tipos de materiais que temos investigado, tais como PVC de calandra, espumado e PLA. Sua novidade como materiais para arte nos permitiu estabelecer um diálogo a diferentes níveis, atuando como um ponto de mudança entre os processos industrializados, o emprego de máquinas, e o resultado final obtido a partir dos métodos mais artesanais.

A utilização de novos materiais na arte dá forma ao nosso modo particular de trabalho baseado no uso de máquinas de controle numérico computadorizado (CNC), e no conceito de desconstrução associado aos processos substrativos da tradição escultórica. Entretanto não só entendemos a desconstrução como uma técnica de trabalho, mas conceitualmente em nossa pesquisa entram em jogo teorias de pensadores como Jacques Derrida e Roland Barthes.

Por sua vez, essas ideias de desconstrução, nos levará também ao interesse por processos mais construtivos. Ao falar da construção devemos relembrar a história das máquinas, e sua evolução em relação à incorporação dos novos materiais. Da mesma forma, e pela parte prática de nossa pesquisa, a construção virá vinculada a ideia da adição de materiais e seu potencial tecnológico mediante as atuais máquinas de impressão 3D.

Para centralizar nossa investigação no campo artístico, exploraremos a versatilidade plástica destes materiais, seus usos e aplicações em diferentes campos de trabalho; e vamos nos basear nas obras de artistas que foram de alguma forma fonte de inspiração técnica, conceitual ou de representação, em relação à nossa compreensão da arte.

Nesta tese encontramos no mesmo plano, tanto os fundamentos teóricos investigados como os procedimentos artísticos, formando assim um conjunto teórico prático cuja força leva a um projeto de arte pessoal em que o próprio material e os processos de manipulação, são os autênticos protagonistas. Porém

estes processos criativos exigem uma metodologia empírica que os confira validade acadêmica e científica. O estudo prévio, os registros dos passo executados e as fichas técnicas dos ensaios plásticos realizados tem grande importância no desenvolvimento de nossa obra plástica. Deste modo, os resultados alcançados podem ser facilmente comparados, e também colaborar para investigações artísticas futuras relacionados aos plásticos adaptados às máquinas CNC e impressoras 3D. Consideramos que o conjunto de experimentações presentes nesta tese, nos permitiram desenvolver um método de trabalho pessoal e plenamente inscritos no âmbito artístico, ao mesmo tempo que os dados fornecidos irão facilitar o progresso em uma linha de trabalho que acreditamos até agora, não havia sido suficientemente abordada.

Palavras chave:

Desconstrução, vácuo, usinagem, fresagem, CNC, construção, modelagem em 3D, impressão 3D, FDM, PVC, PLA, transferências, acumulação, missangas, arte huichol, eletrólise.

Lista de Contenidos

INTRODUCCIÓN

Motivación 18

Hipótesis de trabajo 23

Justificación 27

Objetivos de la Tesis 30

Objetivo principal 30

Objetivos generales 30

Objetivos específicos 31

Metodología 33

Organigrama 37

Temporalización 38

CAPÍTULO 1

LA DECONSTRUCCIÓN COMO CONCEPTO Y MODELO ARTÍSTICO; EL USO DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

1.1 INTRODUCCIÓN 42

1.2 CONCEPTO DE DECONSTRUCCIÓN 43

1.2.1 Jacques Derrida y la noción de la deconstrucción 51

1.2.2 La deconstrucción en Barthes 57

1.3 EL ESTADO DE VACÍO 60

1.4 MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) 67

1.4.1 Los inicios de las máquinas de Control Numérico (CN) 67

1.4.2 La evolución de las máquinas. El control numérico computarizado (*Computer Numerical Control* /CNC) 69

1.4.3 Proceso de mecanizado: sin arranque de viruta y con arranque de viruta 72

1.4.4 Funcionamiento de las CNC 75
1.4.5 Diferentes procesos de mecanizado y sus aplicaciones 81
1.4.5.1 El torno 82
1.4.5.2 La fresadora 85
1.4.6 Ventajas y desventajas de este proceso 93
1.4.7 Expansión de los nuevos materiales y herramientas de corte 95
1.4.7.1 Acero 97
1.4.7.2 Metal duro 98
1.4.7.3 Recubrimientos 102
1.4.7.4 Características fundamentales de una herramienta de corte 104

CAPÍTULO 2
LA CONSTRUCCIÓN COMO CONCEPTO Y MODELO ARTÍSTICO: EL USO DE LAS MÁQUINAS DE IMPRESIÓN EN 3D

2.1 CONCEPTO DE CONSTRUCCIÓN 109
2.1.1 Arquitectura 112
2.1.2 Picto-escultura 117
2.2 INTRODUCCIÓN AL 3D 120
2.3 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS MÉTODOS DE IMPRESIÓN EN 3D 121
2.3.1 Definición de la impresión en 3D 121
2.3.2 Funcionamiento de las impresoras 123
2.3.3 Antecedentes históricos 125
2.3.4 Usos y aplicaciones 130
2.3.4.1 Prototipado Rápido (Rapid Prototyping / RP) 131
2.3.4.2 Escaneado en 3D 132

2.3.4.3 Repostería 135
2.3.4.4 Juguetería 137
2.3.4.5 Educación 139
2.3.4.6 Medicina 140
2.3.4.7 Aeroespacial 143
2.3.4.8 Automoción 144
2.3.4.9 Joyería y moda 146
2.3.4.10 Arquitectura 147
2.3.4.11 Arte y Diseño 149
2.4 PROCESOS PARA LA IMPRESIÓN 3D 151
2.4.1 Generalidades 151
2.4.2 La pluma como impresión 3D manual 152
2.4.3 Procesos de impresión por adhesión 155
2.4.3.1 Estereolitografía (Stereolithography / SLA) 155
2.4.3.2 Sinterizado de láser selectivo (Selective Laser Sintering / SLS) 157
2.4.3.3 Impresión de tinta en polvo (3DP) o proyección aglutinante (Direct Shell Production Casting / DSPC) 160
2.4.3.4 Fusión de haz de electrones (EBM/ Electron Beam Melting) 162
2.4.3.5 Manufactura de objetos laminados (Laminated Object Manufacturing / LOM) y laminación por deposición selectiva (Selective Deposition Lamination / SDL). 165
2.4.4 Procesos de impresión por deposición 168
2.4.4.1 Polyjet 168
2.4.4.2 Extrusión de alimentos 170
2.4.4.3 Modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modelling / FDM) 172

2.5 MATERIALES DE IMPRESIÓN 174

2.5.1 Materiales para la impresión mediante FDM (Fused Deposition Modelling) 175

CAPÍTULO 3
LA REFERENTES ARTÍSTICOS Y CULTURALES DE NUESTRA PROPUESTA PERSONAL

3.1 ARTISTAS DE LA ACUMULACIÓN Y EL LAMINADO: NUEVAS FORMAS DE PICTO-ESCULTURA Y DECONSTRUCCIÓN 186

3.1.1 Maya Ying Lin (Ohio, 1959) 187

3.1.2 Ball-Nogues (Benjamin Ball y Gaston Nogues) 193

3.1.3 Ji Eun Lee (Corea) 197

3.1.4 David Rodríguez Caballero (Pamplona, 1970) 200

3.1.5 Proyectos arquitectónicos 203

3.1.6 Markus Linnenbrink (Dortmund, Alemania, 1961) 206

3.1.7 Eduardo Costa (Argentina, 1940) 209

3.1.8 Bernard Frize (Francia, 1940) 212

3.1.9 Ian Davenport (Londres, 1966) 214

3.1.10 Jen Stark (Miami, 1983) 217

3.2 ARTISTAS DE LAS MÁQUINAS DE IMPRESIÓN 3D: NUEVAS METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS 220

3.2.1 Joshua Harker (Estados Unidos, 1970) 221

3.2.2 Nick Ervinck (Roeselare, Bélgica, 1981) 225

3.2.3 Pia Hinze (Alemania) 229

3.2.4 Dizingof- Asher Nahmias (Tel Aviv, Israel) 232

3.2.5 Exposición *Imprimer le monde* 235

Aldo Bakker (Holanda, 1971) 235

CAPÍTULO 4
PROPUESTA ARTÍSTICA A PARTIR DE PROCEDIMIENTOS MECÁNICOS DE FRESADO MEDIANTE CNC

4.1 INTRODUCCIÓN 240

4.2 EL PVC DE CALANDRA COMO MATERIAL: CARACTERÍSTICAS, USOS Y APLICACIONES 241

4.2.1 ¿Qué es el PVC? 241

4.2.2 Origen del PVC 242

4.2.2.1 Características técnicas y propiedades generales del PVC 243

4.2.2.2 Beneficios y propiedades del PVC 246

4.2.2.3 Estructura y polimerización 248

4.2.2.4 Tipos de cantos 251

4.2.3 Usos y aplicaciones 254

4.3 EL PVC DE CALANDRA Y SUS USOS CONTEMPORÁNEOS 255

4.4 LA VERSATILIDAD DEL PVC DE CALANDRA EN LA PRÁCTICA ARTÍSTICA 259

4.5 DINAMICAS GENERALES DEL PROCESO 261

4.5.1 Elección del material 262

4.5.2 Pruebas de contacto con PVC de calandra 264

4.5.3 Primeras piezas mediante CNC: proceso de digitalización 267

4.5.4 Metodología del diseño 3D de la pieza 268

4.5.4.1 Análisis de curvaturas 270

4.5.4.2 Contacto con el material empleado 276

4.5.4.3 Fase de encolado 278

4.5.4.4 Máquina de control numérico computarizado 280

4.5.4.5 Acabado final 282

4.5.5 Proveedores 285
4.5.6 Tarjetería de exposición 286
4.5.7 Disposición dentro de un emplazamiento artístico 286
4.6 TEMPORALIZACIÓN DE LAS TAREAS Y FASES DEL TRABAJO 288
4.7 EL PVC ESPUMADO COMO ALTERNATIVA DE SOPORTE 289
4.8 EJEMPLOS DE MATERIALIZACIÓN DE LAS PIEZAS 294
4.9 PROPUESTA EXPOSITIVA Y PARTICIPACIÓN EN CERTÁMENES 310

CAPÍTULO 5
PROPUESTA ARTÍSTICA A PARTIR DE PROCEDIMIENTOS MECÁNICOS DE IMPRESIÓN EN 3D

5.1 INTRODUCCIÓN 322
5.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL 323
5.3 EXPERIMENTACIÓN CON EL MATERIAL PLA 324
5.4 TEMPORALIZACIÓN DE LAS TAREAS Y FASES DEL TRABAJO 329
5.5 DINÁMICAS GENERALES DEL PROCESO 330
5.5.1 Metodología para la impresión 3D 331
5.5.2 Proyecto personal: proceso de escultura en 3D 333
5.5.2.1 PCI.BLANC_2014 (gold edition) 333
5.5.2.2 PCI.NOIR_2014 (gold edition) 344
5.5.2.3 C.I_2014 (gold edition) 350
5.5.2.4 Huicholiano I 356
5.5.2.6 Shewi 366
5.5.2.7 Tatewari 369
5.6 EJEMPLOS DE MATERIALIZACIÓN DE LAS PIEZAS 373
5.6.1 Propuesta expositiva y participación en certámenes 380

CAPÍTULO 6
CONCLUSIONES Y VALORACIÓN FINAL

6.1 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 387

6.2 CONCLUSIONES CAPÍTULOS 1 Y 2 388

6.3 CONCLUSIONES CAPÍTULO 3 390

6.4. CONCLUSIONES CAPÍTULOS 4 Y 5 391

6.5 VALORACIÓN FINAL 394

6.6 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 396

Referencias……..……..……..408

Lista de figuras……...420

Lista de tablas……..427

Anexos

1.1 FICHAS TÉCNICAS PVC DE CALANDRA.....430

1.2 FICHAS TECNICAS PVC ESPUMADO.....469

1.3 FICHAS TECNICAS PLA.....505

INTRODUCCIÓN

Motivación

Durante todo el periodo histórico de las Bellas Artes han ido apareciendo alternativas de trabajo tanto a nivel conceptual como material, intentando poco a poco evadirse de la tradicionalidad y romper las reglas ya plasmadas desde sus orígenes clásicos. Poco a poco, los materiales tradicionales por excelencia como la pintura al óleo, al temple o al fresco, han sido desplazados para dejar paso a nuevos materiales alternativos como plásticos, resinas, asfaltos o esmaltes, siendo éstos un motivo de estudio y experimentación en el panorama artístico actual.

Esta evolución desmesurada del arte, nos hace plantearnos investigaciones con estos materiales, no sólo para aportar algo auxiliar, sino como medio informativo del conocimiento histórico y artístico. Estos materiales empleados por los artistas, adquieren un doble papel: por un lado, el de ser “algo” con lo que cubrir un soporte en el espacio, y por otro, el de ser un exponente a través del cual poder evidenciar relaciones sociales, estéticas o de otra índole. La utilización de materiales alternativos crea a su vez una gran revolución técnica que lleva consigo la aplicación de nuevos lenguajes.

Dentro de esa evolución de materiales y técnicas, hemos inscrito el núcleo fundamental de nuestra investigación, por lo que hemos planteado una tesis donde experimentamos y reflexionamos sobre el empleo de los plásticos y sus derivados. En nuestro caso, hemos centrado nuestros esfuerzos en el PVC de calandra, como material **picto-escultórico**. Lo que en un primer momento fue una decisión justificada por nuestra propia proximidad a la industria del mueble, donde este material es habitual; pronto dejó de ser un mero pretexto para convertirse en un material con bastante potencial en otros ámbitos como el escultórico y el pictórico. De este modo, las primeras experimentaciones llevadas a cabo en nuestro TFM, nos animaron a considerar, que el PVC de calandra perfectamente podría ampliar sus límites de una forma heterogénea a la ya empleada en marquetería, estableciendo pues, otra forma de trabajo inédita para nosotros. Este vínculo se remonta hasta nuestra infancia, dado que la empresa de muebles Santo Tomás, fundada en 1892 por Tomás Ureña Romero como taller de carpintería y muebles en Mazarrón (provincia de Murcia) y continuada

como sociedad anónima en 1965, nos introdujo en un universo de posibilidades y materiales como maderas, lacas, melaminas, solventes, chapas, etc. Pero no sólo los materiales nos eran cercanos, también los métodos y formas de trabajar de la industria del mueble como el torneado, encolado, fresado o la talla en madera. De este modo, tanto materiales, como métodos y técnicas de trabajo, acabaron conformado un bagaje, que hoy estimamos imprescindible a la hora de entender nuestro proyecto artístico y nuestro interés por desarrollar un universo personal heredero de la cercanía y accesibilidad a nuestra empresa familiar.

Pero nuestras inquietudes artísticas, nos llevaban inevitablemente a incorporar a lo ya aprendido los nuevos horizontes que se abrían ante nuestros ojos con las nuevas tecnologías tanto de las máquinas de control numérico como de impresión 3D. Estos procesos de producción subrayamos que, aun partiendo de nuestro aprendizaje previo en la industria del mueble, perseguían unos fines enfocados a la pura experimentación artística. Los primeros ensayos fueron llevados a cabo mediante máquinas de **control numérico computarizado** (CNC), las cuales son muy comunes en el sector del mueble debido a la automatización del trabajo en serie realizado, mejorando la productividad en tiempo y calidad, con respecto a los métodos manuales tradicionales.

Esta evolución de los procesos de realización ha dado pie a una expansión en diferentes campos de trabajo, partiendo del concepto de **deconstrucción** que está estrechamente ligado a técnicas artísticas como la talla en madera y piedra, o el *de-collage*. Pero esos procesos además de haberse traducido a técnicas artísticas, también se han consolidado como líneas de pensamiento del arte más actual. En ese sentido, su influencia se extiende al postmodernismo en corrientes como el deconstructivismo, a la que dedicaremos una parte de nuestra investigación. Llegados a este punto, estimamos necesario comenzar a analizar el concepto de la deconstrucción asociado a las máquinas CNC, que a su vez nos abrirá el camino al siguiente capítulo, acogiendo como punto de inflexión el concepto de la **construcción**. Cuando hablamos de construcción, abarcamos una infinidad de campos posibles que tienen su eco en áreas como la arquitectura o el arte, disciplinas que siempre han estado atentas a la evolución de la tecnología. Es por ello, que hoy en día entendemos con naturalidad las técnicas de estampación, el grabado y la serigrafía, la fotografía,

el vídeo, o la infografía; como avances inscritos en el ámbito artístico, dado que sencillamente el arte, en cierta manera, siempre ha estado vinculado a la tecnología. El arte contemporáneo, no es una excepción, al contrario, todavía ha acelerado más esos procesos de incorporación, de herramientas generadas en campos de la tecnología y la ciencia. Hoy asistimos a la revolución digital, y en ella estamos viviendo nuevos territorios como los que ofrecen las **impresoras 3D**, dentro de los últimos procedimientos incorporados a la creatividad.

El abaratamiento de las impresoras 3D y su versatilidad, nos han ido ofreciendo un gran abanico de posibilidades a la que hemos considerado oportuno dedicar una parte importante de nuestra investigación. Ahora que estas herramientas son accesibles, el artista dispone de un medio nuevo para materializar sus obras que pueden enriquecerse de la elaboración de piezas con materiales como fotopolímeros (resinas), polvos cerámicos y metálicos, papel, alimentos (chocolate, azúcar o alimentos encapsulados), plásticos en forma de filamentos, etc. Ese gran abanico de posibilidades materiales, tienen en común, un proceso de trabajo que requiere previamente generar volúmenes diseñados digitalmente en 3D. Pero para la realización de estos procesos, existen muchas variantes posibles, clasificables en procesos de impresión por adhesión, y por deposición. Precisamente, en este último centraremos el grueso de nuestras investigaciones dado que nos ha sido posible disponer de materiales e impresoras que trabajan con este sistema.

En esta tesis, también hemos estimado necesario hacer un recorrido panorámico de los diferentes tipos de plásticos con los que sería posible trabajar, centrándonos especialmente en el PVC de calandra, espumado y en el PLA. Pero además del material, hemos dirigido nuestra atención también al panorama artístico actual, para determinar pautas, ideas, y resultados relacionados con nuestro propio proyecto artístico personal. En todos ellos, independientemente de los criterios que hemos establecido para referenciarlos, encontramos como denominador común, las posibilidades que puede aportar el material picto-escultórico dentro del campo artístico. Son muchos los retos que nos hemos planteado para la realización de este trabajo personal, y para ello nos hemos trazado un itinerario marcado por infinidad de pruebas y ensayos donde los materiales serán estudiados en profundidad. Con los resultados de las

numerosas pruebas a realizar, nos será posible seleccionar entre una gran variedad de materiales, aquellos más adecuados como nuevos soportes artísticos, sin renunciar por ello, a garantizar su perdurabilidad en el tiempo.

Con este proyecto, pretendemos interrelacionar, en las disciplinas de pintura y escultura, el PVC y PLA como materiales finales dentro del campo artístico contemporáneo, ya que veremos piezas pictóricas volumétricas que de no ser dispuestas de forma vertical y sobre la pared, evocarían a esculturas debido a que muchas de ellas destacan por su gran relieve. La idea de esta combinación radica en invitar al espectador a ser activo, obligándole a recorrer la obra o acercarse a ella, dado que no estará contemplada para ser percibida desde un único punto de vista. Esta idea de interactividad, es frecuente en manifestaciones como el **performance**, **happening** e **instalaciones;** en todos estos casos, de una forma u otra, se persigue involucrar plenamente al espectador en la obra de arte. Por otra parte, incorporar los procesos artísticos de un modo performativo, (en nuestro caso, podrían ser los vídeos de la realización de las piezas), permite expandir el sentido y significado de las obras, dejando que las máquinas que intervienen en los procesos, sean una parte importante del diálogo a establecer con el espectador.

Otro movimiento, en el que nos hemos basado es el **Op art** también conocido como arte óptico, ya que sus manifestaciones tienen gran atractivo para los resultados que andamos buscando. El **Op art**, intentaba crear movimientos por medio de efectos ópticos gracias al empleo de líneas paralelas y de gran contraste cromático, generando cierto engaño en la percepción humana. Muchos de sus principios tienen que ver con nuestras limitaciones ópticas y con fenómenos de nuestra visión la persistencia retiniana.

El resultado final de nuestra investigación de carácter teórico-práctico, centrada en los nuevos procesos y materiales aplicables en el campo artístico, culminará con una exposición que sirva de resumen visual y palpable, de todos los resultados obtenidos hasta el momento. Por último, la parte más experimental y práctica del trabajo ha quedado recopilada en fichas que recogen las evidencias de los ensayos realizados. El análisis de los resultados alcanzados, nos ayudará a comprender y visualizar mejor el trabajo teórico-práctico realizado. Estas fichas, ubicadas al final del trabajo en el apartado de anexos, pretenderán

visualizar y poner en común, el comportamiento de distintos materiales como el PVC de calandra, el PVC espumado, y el PLA. De este modo, entre otras muchas pruebas, quedarán reflejados los comportamientos de estos materiales, frente a actuaciones como las transferencias de imágenes, baños de vapor, reacciones a diferentes tipos de solventes, o procesos de dorado a la mixtión o por electrólisis.

Con todo ello, pensamos que la confrontación de resultados, además de sernos útiles para hacer avances en nuestra propia evolución artística, servirá a otros posibles investigadores que deseen adentrarse en los procesos aquí desarrollados de máquinas de control numérico e impresoras en 3D aplicadas a la creación picto-escultórica.

Hipótesis de trabajo

Cualquier planteamiento de investigación siempre parte de una hipótesis. Es cierto que nuestro trabajo no se inició bajo una hipótesis clara puesto que el factor de la experimentación y el ensayo-error, determinaron algunos factores. Pero, por otro lado, en sus inicios sí que teníamos claro que nos interesaba indagar dentro del campo artístico, con el empleo de materiales industriales alternativos. Las características y procedencia de esos materiales, era todavía desconocida para nosotros, lo que implicaba una serie de premisas previas para poder llevar a cabo nuestra investigación. En una primera fase de búsqueda de materiales, que podríamos clasificar como deductiva, partiremos de un marco general referencial que nos deje poco a poco entrar en lo específico y particular. Nuestra intención perseguía una investigación cronológica que pudiese concluirse en una serie de obras artísticas numeradas que pudieran servir como catálogo expositivo de nuestro trabajo. Para materializar este planteamiento, nos decantamos por nuestro entorno más cercano, siendo la empresa del mueble la que nos abrió camino gracias a su amplio abanico de posibilidades. Dentro de los materiales vinculados a la fabricación del mueble, nos podemos mencionar: esmaltes, maderas, conglomerados, melaninas, resinas, etc. Todos ellos, serían opciones viables en un principio, pero finalmente, y tras un periodo de pruebas iniciales, hicimos la apuesta por el PVC de calandra, un material en forma de bobina y derivado del plástico, con espléndidas características y variedad cromática, lo que le convertía potencialmente en un material óptimo para los fines que perseguíamos.

Tras esta decisión, nos planteamos entre otras cuestiones la siguiente: ¿qué métodos de producción artística asociados al uso de materiales derivados del plástico, podrían ser viables expresivamente? A partir de ahí, realizamos una serie de estudios y pruebas para entrar en contacto con el material mediante el método de análisis-síntesis, que consiste en separar un todo para poder estudiarlo de forma individualizada (análisis), y una vez hecho esto, reunir o recaudar todos los elementos para componer un todo (síntesis).

De esta forma, nuestra hipótesis **nos invita a estudiar el uso de las nuevas tecnologías de máquinas CNC y de impresoras 3D, como métodos viables de producción artística.** Esta cuestión, implica profundizar en las

máquinas de control numérico y las impresoras 3D como herederas contemporáneas de procesos artísticos tradicionales vinculables tanto a la construcción como a la deconstrucción de objetos, pero ahora con la novedad de utilizar como punto de partida un modelo digital. En cuanto a los procesos de construcción, las piezas se crean por medio de la superposición de finas capas de distintos materiales, entre ellos el termo-plástico PLA. La deconstrucción por el contrario trabaja por medio de fresas que extraen el material a modo de viruta para darle la forma impuesta por el modelo digital. Así, partiremos de la idea de considerar que será posible realizar mediante estas tecnologías todo tipo de piezas o elementos sin la necesidad de tener que trabajar por partes o secciones. Por consiguiente, para apoyar dicha suposición estimamos oportuno analizar dos premisas: una primera, que se enfoque en el potencial que tiene para la picto-escultura, los métodos de producción de fresado mediante el uso de las máquinas de control numérico computarizado; y una segunda, que demuestre la viabilidad del modelado y la impresión en 3D para la picto-escutlura. Por tanto, la combinación de ambas podrá suponer grandes avances en la construcción de este tipo de obras.

Primera premisa: el potencial que para la picto-escultura tiene el fresado y el uso de las máquinas de control numérico computarizado.

Demostrar que el PVC de calandra y espumado, aparte de ser un material frecuente en espacios públicos e indispensable dentro del sector inmobiliario, sobre todo, como recubrimiento de superficies; es además un material con un amplio abanico de posibilidades en el campo de las Bellas Artes. Aunque en ámbitos como la marquetería o la publicidad, sea frecuente el PVC espumado, su utilización queda simplemente limitada a cubrir una superficie o a ocultar lo que no queremos que se vea. Sin embargo, para nosotros, este tipo de material, no debe ser ocultado, justamente lo contrario, pretendemos trabajar con ellos para que sea visible a ojos del espectador, y auto-suficiente a nivel expresivo, por sí mismo.

Nuestro empeño por descontextualizar los entornos de orígenes habituales de estos materiales, para acercarlos al ámbito de la creación artística, acabó por desembocar en la asimilación de las máquinas de control numérico computarizado y de los métodos de análisis-síntesis. Es decir, partiremos de los

diferentes métodos de deconstrucción de las máquinas CNC, materializados mediante las fresadoras. Llegados a este punto, otra cuestión importante a tener en cuenta, es el concepto filosófico de la **deconstrucción**. Este término se entenderá como la descomposición del todo en sus diferentes partes, abriendo caminos que van desde el análisis del discurso, a la construcción de objetos picto-escultóricos mediante nuevos procesos artísticos.

Pero uno de los problemas que acarrea la producción de piezas mediante sistemas de mecanización en serie, es el de la ausencia de originalidad y el abuso de patrones por repetición que parten de un mismo modelo digital. Llegados a este punto, adquiere sentido, nuestro interés por los procesos de post-producción de las piezas, certificando mediante nuestro trabajo artístico unas intervenciones que singularicen y mantengan el sentido de piezas únicas y la serie limitada. Por tanto, el autor pasa a formar parte de los procesos de mecanizado que sustituyeron a la intervención manual, para complementar la ausencia de la misma y disociar el carácter seriado y carente de originalidad que predomina en los objetos mecanizados.

Este proyecto se convertirá, por otro lado, en una síntesis de un proceso deconstructivo cuyo propósito se centra en identificar las características de los fenómenos observados mediante la reacomodación de cada uno de ellos en tipologías, para poder conocer sus características, comportamientos y diferentes acabados; con el fin de destruir su estado original. Todo ello quedará establecido dentro de nuestro sistema tradicional de trabajo, en el cual adjuntaremos todos los documentos obtenidos, para estudiarlos y llegar a una conclusión que verifique lo mencionado.

Segunda premisa: la viabilidad que para la picto-escultura tiene el modelado y la impresión en 3D.

La segunda premisa parte del mismo concepto que la anterior, en tanto que la experimentación se centra en el empleo de plásticos como el PLA. Pero en esta ocasión, nos apoyamos en un proceso de ejecución artístico, que aun partiendo de mecanizados industriales, tenga su expresión en modelos asociados a la idea de **construcción**. Para ello cobra importancia la posibilidad de asumir el potencial de las máquinas de impresión en 3D. El hecho de tratarse inicialmente de una herramienta bastante cara, destinada a la elaboración de

prototipos rápidos cuyo objetivo era el de acelerar los tiempos de producción de las piezas, no quita que hoy en día, con su perfeccionamiento y popularidad, además de tener utilidad en áreas como la medicina, alimentación o la arquitectura, pase a ser el nuevo pincel y el nuevo cincel del artista contemporáneo.

De este modo, cuando los procesos industriales pasan a estar al alcance del artista, las posibilidades de romper las fronteras entre la materialidad de la obra y su proceso creativo se tornan en una realidad. La unión de lo tecnológico con lo artesanal, o de la artificialidad por repetición con la imaginación, hará que el empleo de las impresoras 3D no caiga en la reproducción de un modelo seriado, sino que los objetos impresos podrán aumentar todavía más las posibilidades de la obra singular e individualizada. Este nuevo concepto de producción consideramos que animará a la creación de piezas personalizadas mediante las tecnologías aditivas en función de las demandas locales, por lo que el artista gracias a las impresoras dispondrá de un mayor número de materiales, procesos y acabados, que le permitan valorar de una forma flexible, cada una de las nuevas propuestas. Estos nuevos procesos harán que nos redefinamos el carácter disyuntivo del arte, teniendo en cuenta la intencionalidad del artista. A este respecto, Tatarkiewicz (2001) afirma: “El arte es una actividad humana consciente capaz de reproducir cosas, construir formas, o expresar una experiencia, el producto de esta reproducción, construcción, o expresión puede deleitar, emocionar o producir un choque” (p.67).

Es posible que el nacimiento de nuevas técnicas picto-escultóricas, tengan que ver con nuestras necesidades continuas de novedad. De tal modo, que la importancia de los materiales y sus formas puedan entenderse tanto como un hecho fundamental en el arte contemporáneo, pero también como un reflejo de las inquietudes y estilos propios de nuestra sociedad. De esta forma, esta segunda premisa en combinación con la primera, dan paso a la generación de nuevos procesos y avances en la construcción de obras artísticas mediante el método objetivista, basado en la observación de hechos y resultados palpables, reales y tangibles; que nos permitan llegar a conclusiones objetivas y aplicables.

Justificación

Nuestra motivación principal para el desarrollo y la investigación de este estudio viene dada por nuestro interés en indagar y experimentar con las amplias posibilidades expresivas que ofrecen los materiales y los procesos industriales, en la creación artística. Esta investigación viene ya precedida tras concluir satisfactoriamente nuestro TFM titulado: *El PVC melamínico como material picto-escultórico*, bajo la tutela del Dr. Antonio García López, cuyo origen surgió gracias a la asignatura del Máster en Producción y Gestión Artística de la Universidad de Murcia, titulada *Nuevos materiales, soportes y poéticas pictóricas*. Entre los objetivos principales de esta asignatura, estaba entre otros, el estudio de las características funcionales de los nuevos materiales en el contexto de sus posibilidades plásticas, y la promoción de la práctica artística como investigación, mediante una sistematización de la experimentación a través de ensayos plásticos. De este modo, la asignatura nos sirvió como punto de partida, para el desarrollo personal que hemos venido fraguando en los últimos años. Por todo ello, nuestro planteamiento viene marcado por el desarrollo de un lenguaje, que a pesar de surgir de los nuevos soportes y materiales procedentes de modelos llamados “industriales”, no renuncia a la idea de singularidad.

En esas primeras investigaciones, fue posible hacerse una idea de la gran variedad de materiales existentes derivados del plástico, con los que era posible trabajar. Del mismo modo, descubrimos el potencial del mecanizado mediante máquinas CNC, en combinación con los acabados, texturas, formas, y posibilidades que nos brindaba el PVC. Estos ensayos plásticos iniciales con PVC de calandra evolucionaron en el tiempo, llevándonos a probar otras variantes de PVC como el espumado. Los resultados alcanzados, pronto nos animaron a seguir indagando en las posibilidades de la superposición por capas de materiales que eran capaces de cubrir grandes espacios y romper fronteras entre lo pictórico y lo escultórico. También cabe mencionar que algunos de esos ensayos acabaron siendo obras que formaron parte de una muestra posterior titulada *Noir et Blanc*, donde se pusieron en común esas investigaciones con el PVC espumado como protagonista. Dicha exposición individual realizada en el 2014 en el Hotel Nelva de Murcia, se configuró como un resumen de todos los

procesos de fresado realizados mediante la deconstrucción del material. La experiencia de esta muestra individual, junto a la de otras colectivas consecuencias de nuestra participación en concursos o certámenes de artes plásticas y visuales, nos sirvieron para tener una idea más clara de la relación entre las obras realizadas y el espectador, al tiempo que consolidaba conceptos que hasta el momento solo eran vagas ideas.

Fuera de lo estrictamente experimental y práctico de la investigación, descubrimos para nuestro asombro, que era muy complicado encontrar bibliografía específica sobre nuestro tema objeto de estudio. Una de las grandes dificultades que pronto encontramos, fue la falta de trabajos académicos que de un modo serio abordarán el potencial artístico tanto del PVC, como de las técnicas del fresado y de la impresión en 3D. Ese vacío, lejos de amedrentarnos, nos estimuló a avanzar en esa línea de investigación, que visto el contexto de partida, todavía se hacía más necesaria y pertinente.

De vuelta a la práctica artística, nuestro interés por conocer nuevos lenguajes expresivos a partir de procesos y materiales, no convencionales, nos animó a documentar el trabajo de diferentes autores, así como sus modos de concebir los procesos creativos y productivos de sus obras. Finalmente, algunos de ellos, nos sirvieron de apoyo visual y fuente de inspiración.

Otro factor que ha tenido mucho que ver con el avance de nuestra investigación, y con la posibilidad de continuar con la utilización de nuevos materiales, fue nuestra estancia en Guadalajara, perteneciente al estado de Jalisco (México). El hecho de haber obtenido en convocatoria pública una beca Fórmula Santander para estancias pre-doctorales en Universidades Iberoamericanas, nos permitió seguir adelante con nuestro plan de trabajo. Una vez en la Universidad de Guadalajara, quedamos fascinados tras nuestra participación en un taller dedicado a la impresión en 3D supervisado por el artista Joe Meiser. Nuevos materiales en forma de filamentos, colores, texturas, acabados, invadieron nuestra mente, y de nuevo despertaron nuestra curiosidad por desarrollar un nuevo lenguaje experimental donde tener también en cuenta la tecnología de impresión en 3D. Esta nueva dirección, acabó siendo la razón por la cual se pudo desarrollar una segunda parte de la presente tesis, enfocada

a los diferentes procesos de producción relacionados con el concepto de construcción y las nuevas técnicas de impresión 3D.

De nuevo el material asociado a una nueva tecnología, se convertía en el centro de nuestro planteamiento. De este modo, un dispositivo que no lleva más de tres décadas en el mercado, pensado inicialmente para la impresión de prototipos rápidos, es hoy, gracias a su accesibilidad y abaratamiento, una herramienta muy a tener en cuenta para el taller del artista actual.

Efectivamente, el potencial de crear obras artísticas mediante estos nuevos procesos de tecnología 3D, unido a la ya mencionada escasa bibliografía dedicada a profundizar sobre ello; han sido las principales coartadas para seguir realizando esta investigación, así como los ensayos plásticos en los que se fundamenta. Con nuestras piezas, hemos buscado fusionar y poner en valor a las artes tradicionales, los nuevos procesos industriales, y la creatividad del artista.

Somos conscientes de que esta búsqueda es continua y nos lleva a un proceso sin fin, pero necesario. Después de nuestra enriquecedora experiencia en México, tuvimos la oportunidad de continuar nuestra investigación en Brasil, gracias a la obtención de otra beca, en esta ocasión denominada Erasmus Mundus-Cruz del Sur. Los múltiples contactos, académicos y artísticos unidos al contacto con otras culturas y maneras de pensar propias de los países mencionados, nos han aportado unas vivencias difíciles de olvidar. Como resultado de ello, las obras desarrolladas en estos periodos de estancia, han enriquecido su lenguaje con elementos procedentes del arte pernambucano tradicionalista. De este modo, se nos abrieron nuevas vías de trabajo a partir del manejo de las impresiones y de los escáneres 3D, y su fusión con elementos del arte tradicional y de la xilografía brasileña. El intercambio de ideas sobre los referentes de la creación artística, las correspondencias y contrastes entre la cultura hispánica y la cultura brasileña, la fusión del arte español y el arte brasileño, acabaran teniendo su eco, en los principales motivos de nuestra producción artística. Con esas incorporaciones, estamos planteando un diálogo actualizado de los valores ibéricos e iberoamericanos, inscritos con plenitud en el arte y la tecnología del siglo XXI.

Objetivos de la Tesis

Objetivo principal

- Realizar una investigación teórico-práctica acerca del uso de los nuevos materiales en el arte contemporáneo por medio de procesos industriales mecánicos de fresado e impresión en 3D, que concluya con la realización de un proyecto artístico que resuma toda nuestra investigación mediante un lenguaje propio.

Objetivos generales

- Desarrollar la aplicación de plásticos como el PVC (de calandra y espumado) y el PLA en la historia como soporte picto-escultórico, así como su vinculación con el adelanto tecnológico por medio de las máquinas asociadas a la construcción y la deconstrucción.

- Contextualizar este material en el campo de las Bellas Artes, recopilando la documentación, referencias e investigaciones a nivel artístico e industrial, para el desarrollo de esta tesis.

- Identificar y analizar los antecedentes artísticos y culturales que utilicen conceptos como la linealidad o la superposición, y trabajen de forma similar tanto en su obra plástica como en su filosofía de trabajo (procesos constructivos y deconstructivos).

- Realizar un proyecto artístico personal teniendo como referencia los signos, vivencias e inspiraciones asimiladas en España, México y Brasil; que englobe los conceptos desarrollados en nuestra investigación teorico-práctica y sirva como catálogo ejemplificativo de cada uno de los resultados obtenidos.

Objetivos específicos

- Comprender la construcción y deconstrucción tanto a nivel conceptual como en el proceso de producción artística, para establecer una base metodológica adecuada que nos permita la identificación de los mismos.

- Escrutar el impacto que tuvo la aparición de las máquinas en el arte como sustitución de los procesos manuales, para conocer su desarrollo histórico y tecnológico.

- Realizar una catalogación de los distintos tipos de PVC (de calandra y espumado) y el PLA, ya sea por su textura, plasticidad o color; para que a la hora de trabajar con alguno de ellos tengamos una ficha informativa para poder prever una multiplicidad de resultados.

- Experimentar y analizar el comportamiento del PVC (de calandra y espumado) y el PLA como medio picto-escultórico frente a la realización de transferencias de imágenes, baños de vapor con solventes o diferentes tipos de imprimaciones, a la hora de ampliar el catálogo de nuevos materiales y técnicas aplicables a las Bellas Artes.

- Descubrir el potencial de las aplicaciones y técnicas derivadas de la utilización de los plásticos, y de procesos de construcción y deconstrucción asociados a la impresión en 3D y a las máquinas de control numérico computarizado, para fines artísticos.

- Evaluar las dificultades y limitaciones que presentan los nuevos materiales a la hora de materializar la obra, mediante el estudio de los ensayos plásticos a realizar, a partir de la utilización de distintos tipos de plásticos.

- Comprobar la eficiencia de las máquinas CNC y las impresoras 3D, a la hora de adaptar estas tecnologías al desarrollo de obras donde sea

posible establecer un diálogo fluido entre procesos industriales, arte tradicional y lenguaje personal.

- Desarrollar un lenguaje expresivo, donde tengan cabida el concepto pintura y escultura, construcción y deconstrucción, así como los nuevos materiales industriales desvinculados de su uso cotidiano, para dar paso a una propuesta personal donde las obras sean procesadas tanto manual, como mecánicamente.

- Incorporar en las nuevas obras a realizar las experiencias académicas, artísticas y vivenciales derivadas del contacto con otras culturas como las de México y Brasil, enriqueciendo las investigaciones con PVC de calandra y espumado, iniciadas en España.

- Realizar exposiciones y participar en certámenes artísticos con las piezas resultantes de nuestra investigación con la finalidad de ampliar conocimientos a través de su difusión. De esta forma y por medio de la catalogación de las piezas podremos valorar los distintos modos de mostrar y exhibir la obra, así como analizar la reacción del público y el espectador al contemplarlas.

Metodología

El presente estudio que venimos realizando en torno a la producción de piezas artísticas parte del empleo de las nuevas aplicaciones en el arte con máquinas CNC y 3D, así como sus relaciones con los procesos constructivos y deconstructivos. En este apartado pretendemos describir la forma con la que hemos abordado nuestra investigación en relación a la teoría gracias al estudio de los plásticos y las máquinas, y a la práctica por medio de la ejecución de piezas artísticas, produciéndose una retroalimentación entre los materiales y procesos industriales, y sus potenciales artísticos y expresivos. Para presentar los procedimientos empleados, en primer lugar queremos remarcar que la coherencia llevada a cabo en este apartado se inicia con las cuestiones planteadas en la hipótesis que a su vez dieron paso a la justificación y a los objetivos que la preceden.

Cuando hacemos mención a la metodología, hacemos referencia al procedimiento o al proceso de trabajo que se ha llevado a cabo durante toda la investigación, siendo en la práctica artística algo fundamental. Estos procedimientos parten siempre de una estructura básica como la hipótesis, los objetivos, la búsqueda de información, el contexto, etc. que en muchas ocasiones tienen un nexo común con los procesos creativos, científicos o de diseño, incluso teniendo contextos diferentes. Tal y como argumenta Watson (1992) en las Bellas Artes por su propia naturaleza son “anti método”, ¡Pero incluso el “anti método” (casualidad, caos, aleatoriedad, anarquía, etc.) es una metodología! Pero además de esos procesos eminentemente prácticos que podríamos resumir en métodos basados en el ensayo-error, esta investigación tiene un **carácter cualitativo** donde deberemos explorar diversos autores contemporáneos, entre ellos, y de un modo destacado a los artistas, aunque también será necesario incluir referencias documentales con la finalidad de aportar una visión crítica acerca del estado de la situación.

Por tanto, en el campo del arte es imprescindible tener una noción del procedimiento de trabajo, que en nuestro caso está constituido por dos partes fundamentales: una primera parte teórica, centrada en la investigación y el análisis de conceptos y nuevas formas de trabajo; y una segunda parte práctica centrada en el análisis de las obras paso a paso, desfragmentándola desde el

material y su proceso de creación, hasta su resultado final. Pero para realizar un seguimiento concordante con los objetivos propuestos en la presente tesis, se hizo necesario desarrollar determinadas cuestiones fundamentales para establecer una compresión entre la parte teórica y práctica del trabajo. De esta forma, el trabajo requirió de una justificación o motivación principal previa centrada en la indagación con los nuevos materiales y procesos industriales, en relación con los conceptos de la construcción y la deconstrucción.

Respecto a la **Parte I** de la investigación, se iniciará a través de un desarrollo teórico con vistas a una actividad práctica que expondremos a lo largo de este documento. A su vez la dividimos en dos perspectivas: **la primera**, gira en torno al concepto de la deconstrucción haciendo alusión a los métodos sustractivos y apoyándonos entre otros, en artistas como Eduardo Chillida (1924-2002) o Peter Zumthor (1943), los cuales trabajan con este concepto creando espacios para su contemplación por medio del vacío generado. También en esta parte destacan ilustres pensadores como Jacques Derrida (1930-2004) y Roland Barthes (1915-1980), cuyas aportaciones a este concepto, no deben ser entendidas como un mero método de destrucción o descomposición, sino que abarca otros ámbitos como al propio lenguaje, la escritura y la crítica literaria. Estas premisas nos darán pie, a establecer vínculos con procesos deconstructivos actuales como los derivados de las máquinas CNC, las características formales de este proceso industrial nos permitirán realizar un estudio comparado con otros procedimientos de la tradición artística. **La segunda** perspectiva, concebida bajo la definición de la construcción, busca posicionarse en un entorno completamente en contraposición con la primera perspectiva.

Cuando hablamos de la construcción hacemos alusión a la materialidad de las formas y a su propia creación, dando lugar al estudio de nuevos métodos partiendo del conocimiento del propio material y de su estudio en campos como la arquitectura, pintura o escultura puesto que son los que más se acercan a este concepto y a nuestra forma de trabajo. Arquitectos e ingenieros como Joseph Paxton (1803-1865), Ferdinand Dutert (1845-1906) o Victor Contamin (1840-1893), nos mostrarán como por medio de la construcción se hicieron relevantes los nuevos materiales mediante una renovación de la arquitectura tradicional.

Concretamente **la fusión entre la pintura y escultura** estableció un lenguaje abarcando ambos términos y obteniendo como resultado la “picto-escultura”. Este concepto a priori novedoso tiene ya claros antecedentes en movimientos con el constructivismo. También tiene otro referente, en el muralismo mexicano durante las décadas de los 50´s y 60´s destacando la figura de artistas como Diego Rivera (1886-1957), José Clemente Orozco (1883-1949) y David Alfaro Siqueiros (1896-1974).

Particularmente nos centraremos en Siqueiros dado que desarrolla el concepto de la “picto-escultura” por medio de murales a gran escala, tanto en exteriores como interiores, en los que sobresalió la idea de aunar elementos tridimensionales al entorno pictórico. Esta búsqueda e inquietud por lo picto-escultórico tiene su paralelismo con los motivos de nuestro interés por el empleo de máquinas de impresión 3D, las cuales trabajan por acumulación de capas y son una herramienta que actualmente tienen un gran potencial. Un universo de procedimientos 3D, todavía por explorar, nos invaden por medio de softwares que nos permiten modelar como si de una escultura en barro se tratara. Se trata por tanto de una variedad bastante amplia de máquinas de impresión que operan con materiales tan diversos como termo-plásticos, fotopolímeros, polvo, papel, azúcar o chocolate, entre otros. Sin duda, esa diversidad de materiales y procesos, debe ser explorada y para ello nos hemos marcado en esta investigación un estudio generalizado de cada uno de esos posibles métodos para la impresión 3D. Con el conocimiento y la experimentación de esos procesos y de sus diferentes tipos de acabados, tendremos muchas posibilidades de hacer una utilización más ajustada a nuestros propósitos expresivos y artísticos.

De esta forma, la **Parte II** de nuestra investigación, se centra más en la experimentación práctica, la cual va precedida por una serie de referentes artísticos escrutando sus pensamientos y formas de entender el arte, de tal forma que sirvan como punto y aparte entre el contenido puramente teórico y la parte práctica, sirviendo a su vez de pilares fundamentales donde descanse nuestra justificación artística personal. Este corpus de artistas se justifica por el empleo en sus trayectorias, de conceptos similares a los que deseamos incorporar a nuestro trabajo. Las influencias, no siempre son visibles, pero de un modo u otro

esta puesta en común, ha marcado un periplo para el desarrollo futuro de nuestro proyecto de investigación artística. Aunque la tarea fue laboriosa, decidimos agrupar por un lado aquellas propuestas que de alguna forma se acercan a los procesos deconstructivos; y por otra, a aquellos artistas y creadores que en las últimas décadas han incorporado la tecnología de impresión 3D, y los procesos constructivos en la elaboración de sus obras.

Nuestra experimentación práctica, hace referencia a la técnica de experimentación realizada y gira entorno a los procesos mencionados con anterioridad, pero tiene como punto de partida el empleo de materiales derivados del plástico en diferentes formatos y composiciones como el PVC de calandra, espumado o el PLA. A su vez, esta segunda parte del proyecto tendrá como objetivo la materialización de una serie de resultados cuya propuesta concluya en una exposición itinerante y que a su vez de pie a resumir y ejemplificar todo el contenido presentado, de manera que, por medio del arte, surjan cuestiones subyacentes en relación con las nuevas tecnologías en la contemporaneidad. El empleo de dichos materiales, no tiene como prioridad únicamente una búsqueda experimental y gestual en la picto-escultura, sino que pretendemos engrandecer y textualizar la práctica artística apoyada en elementos industriales en contraposición a las técnicas pictóricas tradicionalistas.

Para desarrollar este proyecto con coherencia, como ya hemos apuntado, fue necesario apoyarse en el empleo de una **metodología cualitativa**, la cual pertenece a la corriente fenomenológica tal y como apuntan Rosario Quecedo Lecanda y Carlos Castaño Garrido (2002). Nos centramos en este método debido a que nos facilita la agrupación de datos empíricos que nos han servido para ordenar la información acerca de la construcción y la deconstrucción, e interpretarla en la práctica artística. En este aspecto, el diseño cualitativo se encuentra arraigado a la teoría, convirtiendo a ésta en un filtro que informe e integre los datos para su entendimiento. Este tipo de metodología es la que más se ajusta al campo de las Bellas Artes debido a su flexibilidad en cuanto a la búsqueda de soluciones y a la producción de datos descriptivos por medio de la observación, la etnografía o la investigación de campo. Por consiguiente, tendremos que abordar las tareas a realizar, atendiendo a un orden que refleje de menor a mayor el grado de dificultad al que nos enfrentamos: esa

organización de tareas en distintos apartados garantizarán la resolución de problemas de un modo lo más coherente posible.

Organigrama

- Profundizar en el estudio de materiales como el PVC de calandra, PVC espumado, y el PLA, atendiendo a su historia y utilidades en sus sectores de origen, nos aportará amplios conocimientos que podremos manejar artísticamente en nuestras próximas propuestas.
- Después de una descripción general de las propiedades y características físicas de los materiales a emplear, nos centraremos en aquellos más próximos a la industria del mueble, analizando sus usos y aplicaciones.
- Una vez analizado todo lo anterior, pasaremos al apartado práctico y a la investigación plástica, en la que realizaremos una serie de pruebas de contacto con el material que quedarán registradas en los anexos a modo de fichas técnicas que nos ayuden a obtener conclusiones de todo el trabajo realizado y nos sirvan como catálogo documentario para obtener datos como los proveedores, características, medidas, formatos, imágenes ejemplificativas de las reacciones, etc. En estas fichas, que adjuntaremos al final del trabajo, acompañadas de imágenes para un mayor entendimiento, podremos ver la reacción de los materiales ante distintos tipos de procedimientos.
- Del conjunto de estas pruebas, se realizará una selección que pretendemos mostrar en una exposición plástica final que a modo de resumen, sea guía palpable ante la opinión pública y académica, de los conocimientos adquiridos.
- Tendrá gran importancia en este proyecto internacional la colaboración de los profesores de las tres universidades en las que se llevará a cabo esta investigación, concretamente la Universidad de Murcia, (España), Universidad de Guadalajara (México) y Universidade Federal de Pernambuco, (Brasil). Nuestro interés por la elección de estas dos universidades iberoamericanas fue porque en ambas se están desarrollando asignaturas e investigaciones enfocadas en las nuevas tecnologías. De esta manera, con sus aportaciones esperamos enriquecer la investigación al tiempo que las experiencias vividas en esas

localizaciones, nos ayuden a incorporar contrastes culturales de gran interés en las obras a realizar y poder compartir nuestros conocimientos.

Temporalización

Para llevar a buen puerto las principales tareas propuestas, hemos establecido el siguiente cronograma.

- **1ª etapa:** consistirá en la búsqueda de materiales que nos puedan ser útiles para el proyecto y realización de una recogida de documentos de vital importancia acerca del material en nuestra base de datos.

- **2ª etapa:** realización de un análisis de los antecedentes artísticos y teóricos que sean el punto de partida para nuestra investigación.

- **3ª etapa:** llevaremos a cabo una serie de pruebas para materializar las reflexiones iniciales más relevantes. Por otra parte, estas primeras piezas, serán el origen de nuevas formas de trabajo obteniendo nuevos planteamientos. Gracias a esto, obtendremos unas conclusiones teórico-prácticas bastante cercanas a la realidad.

- **4ª etapa:** materializaremos obras que sean el resultado práctico del desarrollo previo de nuestra investigación.

- **5ª etapa:** una vez concluidas las primeras obras definitivas a priori, se realizará una simulación de cómo quedarían ubicadas dentro de un emplazamiento artístico. A su vez, estudiaremos el sistema de sujeción adecuado, los proveedores y una tarjetería para acercarnos al máximo a la realidad.

- **6º etapa:** se realizará una exposición, con presentación física de la selección de obras realizadas, también, puesta en común a la comunidad académica mediante presentación en soporte digital y memoria final con las conclusiones de nuestra investigación. También está previsto dar

visibilidad a los procesos llevados a cabo mediante la edición de documentos de carácter audiovisual que pasarán a formar parte del portal OCW de la asignatura: “Ensayos plásticos con nuevos soportes y materiales pictóricos”.

Cualquiera de las actividades de cada etapa puede ser realizada paralelamente unas con otras, por lo que en la práctica muchas de ellas deberán ser realizarlas simultáneamente. En cualquier caso, nuestra pretensión es la de que en su conjunto sea una investigación funcional para hacer crecer nuestra propia práctica artística; al tiempo que a modo de manual, pueda ser de utilidad pública para otros investigadores que en el futuro, intenten avanzar en una temática todavía abierta, y con mucho territorio por explorar.

CAPÍTULO 1

LA DECONSTRUCCIÓN COMO CONCEPTO Y MODELO ARTÍSTICO; EL USO DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas técnicas de trabajo siempre ha estado ligado a nuestra evolución y este hecho a su vez parte de las necesidades que las sociedades de cada periodo han ido generando. Como el concepto de lo que es, o no Arte, ha ido variando a lo largo de los siglos, hemos llegado a un punto en el que las nuevas tecnologías también han penetrado de lleno en los procesos creativos relacionados con disciplinas como la escultura, la pintura, la fotografía, etc. De este modo la evolución de los procesos industriales en campos como la arquitectura, el diseño, la automoción o la joyería, donde las nuevas tecnologías que ayudan a mejoran la productividad de piezas en tiempo, calidad y terminación; han acabado teniendo su eco en las manifestaciones artísticas más contemporáneas. Al asumir esos nuevos modelos productivos, se ha contribuido indirectamente a que el arte, se aleje de su impronta artesanal entendida como virtuosismos, diluyendo cada vez más la barrera entre el objeto artístico material e intangible, entre lo humano y lo tecnológico.

Pero no podemos dejar a un lado las técnicas tradicionales puesto que muchos de los procesos creativos actuales que emplean las nuevas tecnologías como nueva fórmula de trabajo, parten de los conceptos clásicos por antonomasia. Este hecho no solo está cambiando los nuevos procesos de creación, sino que también genera un nuevo empleo de materiales en el Arte, desvinculándolos de su sector habitual y rompiendo las fronteras establecidas.

Es el caso de las máquinas de control numérico computarizado (CNC), que ya la encontramos tanto en grandes establecimientos industriales como en pequeñas empresas o incluso a nivel particular. Estas máquinas parten del concepto de deconstrucción al igual que los procesos escultóricos tradicionales mediante sustracción de material. La escultura ha ido cambiando en el trascurso de la historia tanto a nivel técnico como material, pero en la actualidad procedimientos como la talla en piedra o en madera, están siendo sustituidos por el empleo de nuevos procesos donde las máquinas de control numérico computarizado (CNC), tienen un papel destacado. Los procesos sustractivos parten de la idea de ir vaciando el bloque de material, ya sea piedra o madera,

mediante herramientas como gubias especiales para cada uno de ellos hasta encontrar la forma deseada y darle el acabado que busquemos.

Por esto estimamos oportuno hacer hincapié en el concepto de **deconstrucción** en contraposición al concepto de **construcción** que analizaremos en el próximo capítulo. Cuando hablamos de deconstrucción hacemos alusión a los métodos sustractivos puesto que conceptualmente parten de la misma premisa que es la de eliminar material. Gracias a esta eliminación, nos dejará ver la pieza que pretendemos mostrar por lo que se mantiene oculta hasta la generación de este proceso, que a su vez ocasionará un vacío de la misma.

En este aspecto se pretende emplear en nuestra propuesta plástica el uso de máquinas de control numérico computarizado dentro del campo del arte mediante el uso de nuevos materiales desvinculados de su uso cotidiano, por lo que resumiremos y concluiremos de forma visual todos estos conceptos analizados.

En la actualidad, a pesar de que las CNC se empleen en números sectores de trabajo, pocas personas procedentes de las bellas artes están familiarizadas con ellas y casi todas desconocen su funcionamiento y utilidad. Con el fin de hacer un poco más accesible esta tecnología y su potencia para las bellas artes, dedicaremos este capítulo a describir brevemente sus procesos y vocabulario.

1.2 CONCEPTO DE DECONSTRUCCIÓN

Cuando empleamos el termino **deconstrucción** abarca gran cantidad de ámbitos como puede ser en aspectos arquitectónicos como las ruinas de un edificio o templo ocasionadas por el paso del tiempo o por la acción humana. También la podemos asociar al desgaste ambiental por medio del mar, viento, lluvia, terremotos o ventiscas que generan daños irreparables. En otras ocasiones, la deconstrucción puede asociarse a un fragmento o materia que ha sido eliminado y no puede volver a su estado original, hablaremos entonces de la generación de una “deconstrucción parcial” en la que se hace visible un

estado de vacío[1] que a su vez crea una nueva superficie dividida en dos partes: la visible y la invisible.

En estos casos partimos de la premisa de que el espacio total que abarca dicha superficie es modificado de tal forma que ahora se genera un volumen inferior en cuanto tamaño, partiendo de la misma superficie que a su vez genera esa parte negativa de la pieza que se elimina por completo, pero que es interesante mostrarle especial atención, puesto que se crea una entidad invisible en este proceso de deconstrucción.

Otro ámbito donde la **idea de deconstrucción** está presente, tiene que ver con la acción de desmontaje de máquinas. En estos casos hablaremos de una "deconstrucción bifásica" porque ese espacio invisible del que ya hablábamos, vuelve a ocuparse de nuevo por sus fragmentos originales, siendo este un espacio temporal. Este tipo de deconstrucción es frecuente en la fabricación de envases, abonos, papel o incluso productos electrónicos mediante plantas de tratamientos de residuos.

A rasgos generales, en esos procesos de reciclaje, hay dos fases claras. En la primera se parte de la deconstrucción de los elementos mediante procesos de filtración de residuos gracias a la limpieza de los mismos y tras esto se lleva a cabo su trituración para dividirlos en categorías. Después, ya tendríamos el material listo para la segunda fase que consistiría en la realización de nuevos productos partiendo de los materiales reciclados. De este modo, en función del tipo de residuo, obtendremos el predomino de un material u otro (como el caso del plástico y del metal en los electrodomésticos). (RAEE, Andalucía, 2017)

[1] No debemos confundir los procesos de deconstrucción, ya se parcial o bifásica, con el estado de vacío. Cuando hablamos del estado de vacío lo entendemos como el resultado de la diferencia de los dos procesos de deconstrucción, ya sea actuando por separado o consecutivos. Ese vacío a su vez genera dos superficies destacando una parte positiva y la otra negativa.

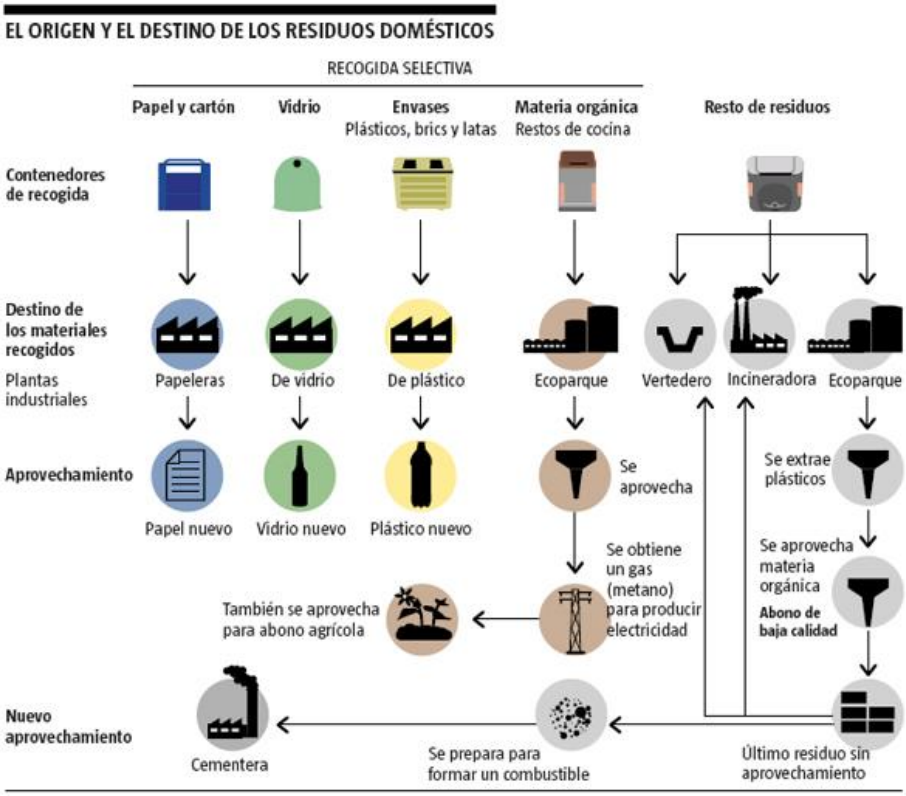


Figura 1. Esquema del proceso de reciclaje selectivo de varios materiales
Fuente: Antonio Cerrillo, 2011

Por otro lado, muchos artistas emplean el proceso de la deconstrucción para darle importancia a ese hecho como tal y a los restos de ese proceso, siendo éstos la propia obra en sí. Uno de los proyectos más polémicos que versan entorno a procesos de deconstrucción parciales del entorno natural mediante la acción humana lo encontramos en el *Monumento a la Tolerancia* o también conocido como “Proyecto de la montaña Tindaya”, del escultor vasco Eduardo Chillida (1924-2002). Este proyecto fue un encargo del gobierno de Canarias para que el artista realizara un monumento-escultura en la montaña Tindaya, situada en el municipio de La Oliva, en Fuerteventura, siendo esta uno de los principales yacimientos rupestres de la isla.

La idea de Chillida era la de realizar una deconstrucción en el interior de la montaña haciendo una estructura interna con forma cúbica de 50x50x50m en el que se accedería mediante un túnel de 200 metros y sobre la cual la enmarcan dos tragaluces, uno de 20x20x65m y otro de 30x21x65m, que actuarían como elementos luminarios en función del momento del día en el que estemos. Eduardo Chillida afirmó: "Mi única ambición es crear un espacio útil para toda la

humanidad, que cuando un ser humano entre en ese cubo vacío de 50 por 50 por 50 metros, sienta en su plenitud la pequeñez humana" (Citado en Grabados y Litografías.com, 2016).

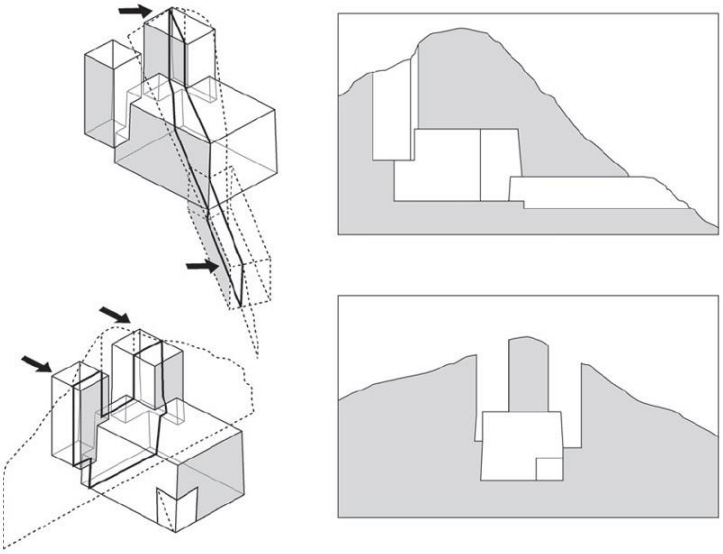


Figura 2. Esquema de Arup ingeniería de la obra de Eduardo Chillida en Tindaya
Fuente: S.R. Macklin, P. Varley, P. Varona y C. Merino, 2012

El proyecto de Tindaya surge tras ver como los canteros trabajaban la piedra directamente en la montaña, como si se tratara de una talla de grandes dimensiones. Este vacío producido por la acción de eliminar material, se asemejaba al propio concepto de Chillida, que consistía en el diálogo que se establecía entre el espacio y la materia. Esta idea quedó presente en casi todas las obras del artista.

Pero otro de los aspectos fundamentales de este proyecto no materializado, era, por un lado, el de generar un espacio para la tolerancia, que desde la parte externa fuese imperceptible para el ojo humano, pero por otro lado, que una vez en su interior también permitiera un espacio cambiante en función del sol, la luna, el movimiento de las nubes o el ruido del mar. Así, las incisiones en la montaña, no estaban al azar, ya que uno de los tragaluces busca el sur de la montaña enfocando al sol y el otro tragaluz está ubicado en la zona norte para visualizar la luna y de esta forma generar luces más frías. Respecto a la entrada, la gran embocadura mira hacia el horizonte y el mar, y está diseñada

unos metros más baja en el inicio que en el final, para contemplar mejor la visión limpia del horizonte (Patricia Samudio, 2000).

El espacio interior de Tindaya, no sólo evocaría al concepto tradicional de la escultura basada en la sustracción del material o en este caso en la deconstrucción de la misma, sino que sería un espacio que cambiaría en función de los solsticios de verano e invierno, así como también con las condiciones meteorológicas, estas transformaciones solo serían apreciables en el interior de la montaña. Con lo cual estaríamos hablando de un espacio constantemente modificado por la acción de la luz y que, para contemplarlo y conocerlo plenamente, deberíamos pasar cierto periodo de tiempo en su interior. Este hecho puede aludir al "mito de la caverna" de Platón en el que, en su *fase de regreso,* se hablaba de la difusión de las nuevas ideas asociadas a la **idea de la verdad**. De este modo, las personas que contemplasen el proyecto de Tindaya, también estarían obligadas a difundir la verdad; pero al tratarse de una obra cambiante, podrían surgir engaños o mentiras al transmitir una información sesgada por un fenómeno en constante proceso de transformación.

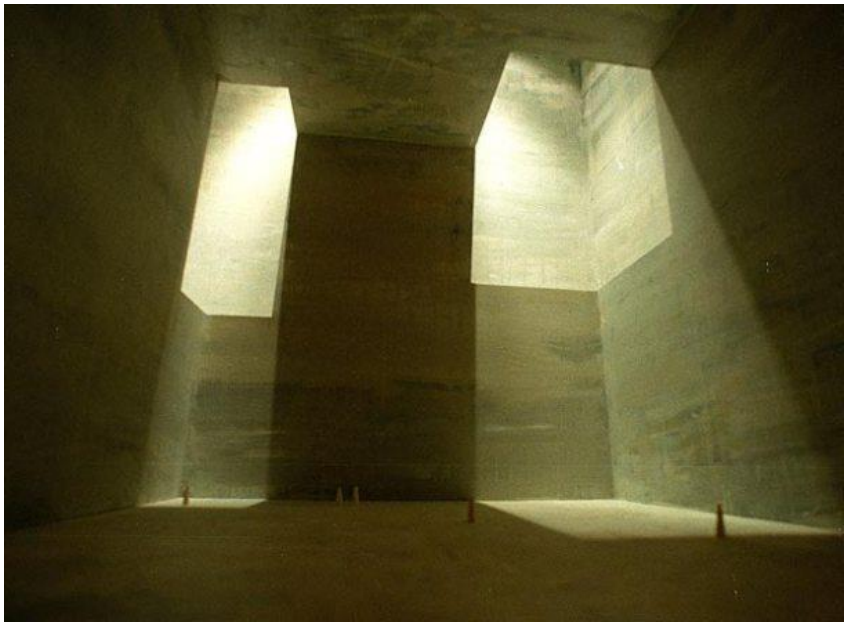


Figura 3. Recreación virtual del interior de Tindaya penetrando la luz en los dos tragaluces
Fuente: César-Javier Palacios, 2011

Otro ejemplo que requiere especial atención para comprender mejor el concepto de deconstrucción pero esta vez enfocado en la arquitectura en puesto de las artes plásticas y visuales, lo encontramos en la realización de La Capilla

de campo Bruder Klaus, 2007, encargada al arquitecto Peter Zumthor (Basel, Suiza,1943).

En ella cabe destacar el proceso de realización de la misma puesto que parte del concepto de construcción para después deconstruir la parte interna de la obra, generando pues un vacío interno que será el espacio de mayor reflexión de la misma. Este proceso de construir para luego deconstruir está intrínsecamente relacionado con el capítulo 4 donde exponemos propuestas plásticas por medio de máquinas CNC (control numérico computarizado). A su vez, este tipo de procesos podríamos decir que se enmarcan en un punto y aparte entre la “deconstrucción parcial y la bifásica”.

Figura 4. Peter Zumthor, *Capilla Bruder Klaus*, 2007. Mechernich, Alemania. Imagen con el proceso de creación de la capilla con una estructura interna con troncos de madera, denominada "hormigón enramado”.
Fuente: sobrearquitecturas.wordpress.com

Zumthor comienza la construcción mediante la acumulación de troncos de madera dispuestos en forma de tienda de campaña. Luego se fueron cubriendo por la parte exterior mediante sucesivas capas de hormigón de unos 50 centímetros de espesor cada una hasta alcanzar 12 metros de altura. Paralelo a esto, se fueron colocando tubos de acero cromado para que incidiera la luz a través de ellos. Este tipo de estructura mediante la superposición de troncos se denomina “hormigón enramado”. Posterior a la finalización de la parte externa de la capilla, se procedió a la carbonizar la estructura interna de madera para después retirar todos los restos y dejar el negativo de la imagen de los mismos (Mª Dolores Palacios Díaz, 2011).

Esta idea de la construcción del vacío antes que la estructura en sí propiamente dicha, es un ejemplo claro de la importancia que puede tener plasmar la huella de esos elementos no definitivos, pero si presentes en los procesos creativos. Ese molde necesario para dar la forma a las obras constituye una sección de la figura a la que tradicionalmente no se le presta demasiada atención. De este modo, percibimos claramente la parte positiva y definitiva de las piezas, quedando en un segundo plano imperceptible, los restos que nos han llevado a ellas, y que conforman un vacío invisible.

Lo magistral de este proceso es que lo primero que el espectador ve es la construcción de ese vacío gracias al cual, mediante el proceso de deconstrucción, en este caso mediante la combustión de la madera, podemos ver en el corazón de la capilla, los restos de los troncos incrustados en el hormigón como si de una porción del bosque quemado se tratase.

Figura 5. Parte interna de la Capilla tras haber carbonizado la estructura de troncos de madera.
Fuente: sobrearquitecturas.wordpress.com

Respecto a la parte externa de la capilla, nos deja ver su ubicación destacando su base con forma de prisma poligonal de 12 metros de altura predominando la verticalidad. Al encontrarse en medio de un campo de cultivo hace que pueda contemplarse desde lejos y como los lados de la misma son irregulares (ver figura 5), nos propone una experiencia visual invitando al espectador a tener que rodearla, aludiendo al concepto de escultura de bulto redondo, la cual representa la tercera dimensión.

Destacaremos tres elementos fundamentales en esta segunda parte de la capilla (la parte positiva de la estructura), en la que observamos el acceso de la misma mediante una puerta triangular cuya forma fue generada por la disposición de los troncos a modo de cabaña y que al abrirse parece estar flotando. También destacan los agujeros que aportan cierta luminosidad a toda la parte interna que no son más que los orificios de los tubos de acero cromado que colocaron en el proceso del encofrado, marcando un vínculo de unión entre el exterior y el interior de la capilla, entre la parte positiva y la negativa. El tercer elemento seria el óculo cenital que ilumina a modo celestial toda la parte interna, que nos muestra y relaza la textura de las paredes carbonizadas por los troncos predominando la concavidad y que a su vez acentúan nuestro sentido olfativo ya que el olor de la combustión quedo penetrante durante meses.

Así, el humo en la Capilla *Bruder Klaus*, es un claro ejemplo de la importancia de los elementos de la naturaleza como el agua, el aire, el fuego y la tierra, para lograr en el espectador una experiencia donde todos sus sentidos se entrelazan en la articulación de un espacio interior.

Figura 6. Parte externa de la Capilla mostrando la entrada, los orificios, sus lados y el óculo.
Fuente: sobrearquitecturas.wordpress.com

Podríamos hablar entonces de la desmaterialización parcial de la obra de arte dado que el “positivo” y el “negativo”, juegan un papel decisivo y complementario en tanto que actúan por necesidad de uno respecto al otro.

1.2.1 Jacques Derrida y la noción de la deconstrucción

Al mencionar a este autor, nos sumergimos en el término de la “deconstrucción” entendido este no en cuanto al fenómeno de destruir o desmaterializar un objeto o elemento físico como hemos estado tratando hasta ahora, sino en el de analizar las estructuras que conforma un texto, ya que llegaremos a un punto en que todo es escritura, incluyendo diferentes ramas como la arquitectura y la pintura.

En una entrevista concedida al periódico *Le Monde* en octubre de 2004[2], el filósofo francés Jacques Derrida (Argelia, 1930-París, 2004) habló de su concepto de **deconstrucción**, (concepto que en palabras del mismo autor: "ya existía en francés, pero su uso era muy raro”) señalando que su concepto surgió tras abordar y traducir dos términos: el de **destrucción**, empleado por el filósofo alemán Martin Heidegger (1889-1976) y el de **disociación** empleado por el neurólogo austriaco, y fundador del psicoanálisis Sigmund Freud (1856-1939). Según Derrida, Heidegger -que hablaba de la “destrucción” en su libro *Ser y tiempo-,* asociaba el concepto de destrucción como uno de los objetivos de la fenomenología, el de la **destrucción de la metafísica**, la reducción a la nada. Para Heidegger la destrucción evoca al tiempo y, la destrucción debe explorar ese tiempo para redescubrir la pregunta por el sentido del ser, entendido como ser temporal. Sin embargo, para Derrida, también el concepto de **disociación** empleado por Sigmund Freud, permitía hablar de la deconstrucción enfocada a un texto, a un concepto cuya critica filosófica en ningún caso era el de rechazarlo o negarlo.

Pero para Derrida, tal y como nos indica José Morales Fabero (2012), tanto la **deconstrucción** asociada a la “destrucción” en términos de Heidegger como la “disociación” equiparada por Freud, terminan con la disolución del concepto; y, por el contrario, Derrida entiende el término como la descomposición del todo en sus partes, abriendo caminos para el análisis discursivo de las figuras

[2] Léase entrevista en: http://medias.lemonde.fr/medias/pdf_obj/sup_pdf_derrida_111004.pdf

textuales como ensayos, novelas o artículos, que nos mostrarán sus diferentes significaciones. Recordamos también, que este término pasó a ser un concepto clave a la hora de entender la Postmodernidad

Derrida intentó realizar una definición de la palabra *deconstrucción* llegando a la conclusión de que era incapaz de definirla sin hacer una re-contextualización de la misma, siendo el estructuralismo la corriente de ese momento en la que el termino *deconstrucción* debía tomar una posición. Fue concretamente durante los años 60 cuando la deconstrucción comenzó a desvincularse del estructuralismo a modo de protesta, surgiendo así el "deconstructivismo" como un reto para el discurso de lo "moderno", abarcando ramas de conocimiento, no solo a nivel filosófico, sino también en la arquitectura, la música, la literatura, la teología o la pedagogía Peter Krieguer (2004).

Es tras la apertura a estos campos cuando comienza a adquirir una mayor trascendencia y sociabilidad, puesto que ya en arquitectura, la deconstrucción tiene su apogeo en los 80 y fomenta un nuevo lenguaje de los espacios urbanos, aprovechando los nuevos aportes de Derrida para la incorporación de conceptos como la **huella**, **exclusión**, **represión** o **el otro** a la hora de teorizar sobre la misma. Pero a su vez, el deconstructivismo derridiano provoca ciertas problemáticas puesto que Derrida manifiesta que todo es texto, por lo que la interpretación de los mismos es un proceso dinámico que no se concluye nunca. Sin embargo, en la arquitectura deconstructivista, ya sea en dibujo, *renderings* o en una construcción física, el proceso deconstructivista termina siendo el resultado de una huella que muestra el proceso global de su realización.

Un ejemplo claro de arquitectura deconstructivista lo encontramos en el Museo Guggenheim de Bilbao diseñado por el arquitecto Frank Gehry (Toronto, 1929) el cual destaca por la idea de la fragmentación, el proceso del diseño no lineal o el uso de la geometría no rectilínea empleados para romper con los principios elementales de la arquitectura moderna; todo ello para conseguir una vez concluido un edificio, un resultado que evoque a una obra de arte por su belleza. Pero esta idea no es la que Derrida definió como el **deconstructivismo** ya que éste se caracteriza por su dinamismo redactado sobre un papel y no el resultado final de una pieza inmóvil.

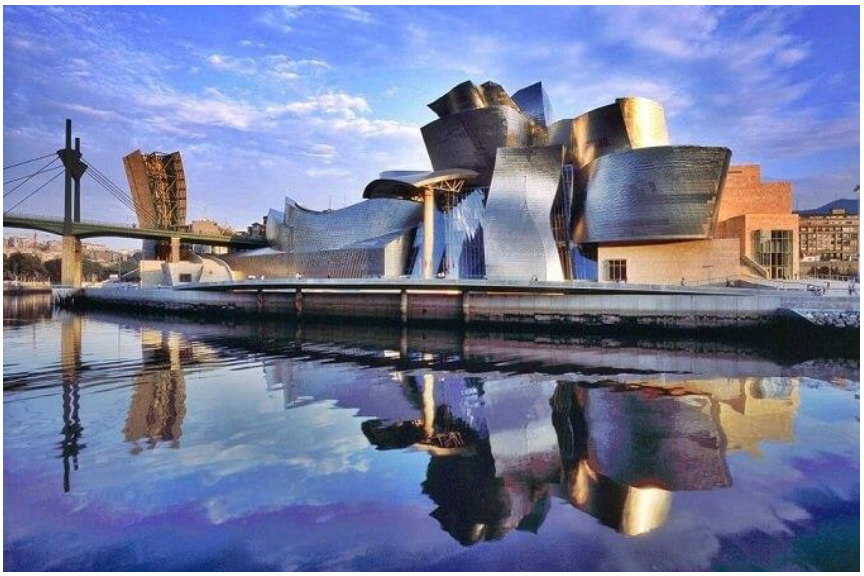


Figura 7. Museo Guggenheim de Bilbao, 1997.Frank Gehry.
Fuente: Arquitexs

Pero junto a Frank Gehry, muchos de sus compañeros arquitectos precursores del movimiento deconstructivista intentaron aproximarse al concepto derridiano generando debates que desarticulaban el movimiento modernista y se cuestionaban las ideas banales del posmodernismo. Uno de ellos fue el arquitecto polaco Daniel Libeskind (1946) que tras nacionalizarse en EEUU y estudiar en la escuela Cooper Union de Nueva York, comenzó a introducir en la arquitectura nuevos conceptos para romper con las premisas modernistas ya establecidas. Ejemplo de ello es la serie once bocetos a lápiz sobre papel titulada *Time Sections* de 1980, donde mostraba un despliegue de posibilidades donde desafiaba los límites de la arquitectura mediante visiones inconstruibles. En esta obra, fragmentos de elementos arquitectónicos recorren todo el papel aludiendo al pasado y al futuro para sumergirnos en las profundidades de nuestra propia imaginación. En ese sentido Krieger (2006) afirma:

> Alguna vez Libeskind, comenzó a construir "esqueletos poéticos del espacio aristotélico",-con la cual disolvió las unidades tiempo, lugar y espacio, y creó laberintos de pensamiento arquitectónico. Más de 16 años después, su deconstrucción gráfica (por ejemplo "La sección del tiempo" de 1980) (fig. 6)[3], inspiró al artista húngaro Gabor Bachmann a hacer una pobre imitación. La denominada "arquitectura de nada" (p.102).

[3] Correspondiente aquí en nuestro trabajo a Figura 8.

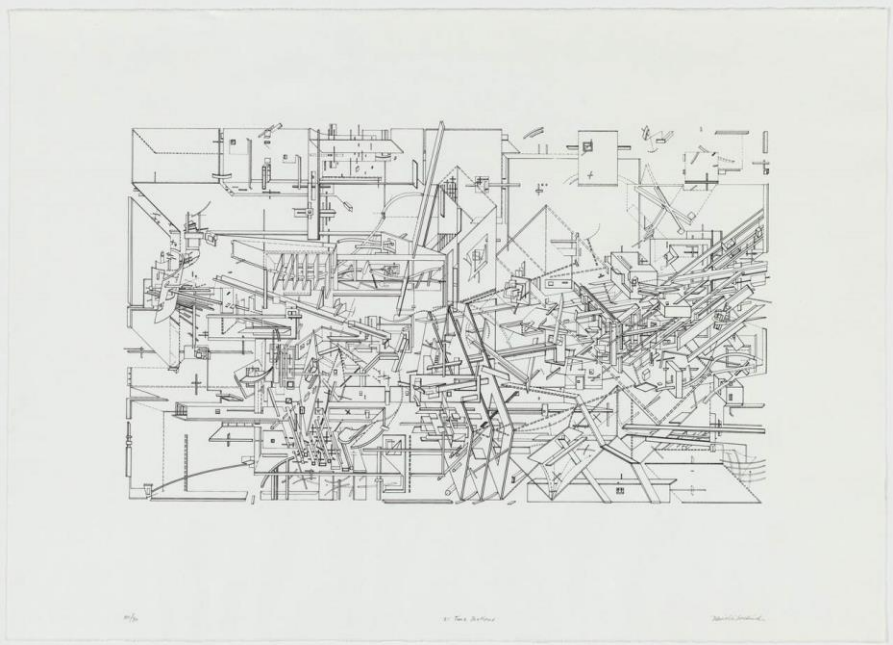


Figura 8. Daniel Libeskind, *Micromegas Project, Time Sections*, 1979. Boceto a lápis
Fuente: Museum of Modern Art

En ese momento, Daniel Libeskind podríamos afirmar que mantenía un acercamiento a la idea de **deconstrucción** de Derrida**,** pero finalmente su propuesta ya en pleno siglo XXI, para la reconstrucción del *World Trade Center* de New York, nos devolverá a un planteamiento de superficialidad arquitectónica cuyas formas frías, no son ni sombra de su anterior planteamiento deconstructivo.

Para el proyecto del nuevo Word Trade Center, Libeskind propuso un edificio en el que predominaran formas deconstructivas a una altura de 1.776 pies, aludiendo de esta forma al día de la independencia de EEUU al mismo tiempo que se proponía un nuevo récord mundial de altura. Libeskind intentó que el *Ground Zero* fuera un lugar contemplativo para la reflexión de lo acontecido simbolismo y estética al servicio de un edificio en conmemoración al dolor fantasma[4]. Pero finalmente, las autoridades decidieron desarticular esta idea mediante la realización de una estación de trenes (Peter Krieger, 2003).

[4] Tras la destrucción llevada a cabo por terroristas musulmanes del World Trade Center el 11 de septiembre de 2001, surgió en Nueva York y gran parte de la humanidad mundial una sensación contenida de duelo. El hueco dejado por la superficie total de la plaza que existió durante casi tres décadas, se convirtió metafóricamente en un símbolo de la expansión de ese dolor fantasmal.

En alusión a esta cuestión, Krieger (2003) refiere que existe una relación con Freud en cuanto a la importancia de los fragmentos históricos de la urbe como enriquecimiento de la individualidad del alma, pudiéndose aplicar esto al ejemplo anterior, entendido como una crítica a la globalización del trabajo arquitectónico realizado. Pero Krieger también señala que la realización de los rascacielos en este lugar, muestra una autocrítica a Freud ya que éste parte de la destrucción como diferencia central entre la historia del alma y la historia de la ciudad. Mientras que el desarrollo psicológico humano no se caracteriza exclusivamente por la contemplación de traumas o dolores, la urbe si está determinada por una serie de construcciones y destrucciones. Por tanto, como la demolición forma parte de la historia de las ciudades, el dolor fantasma, la pérdida o la huella también lo son.

En definitiva, Libeskind pretendía aunar el **concepto de deconstrucción filosófico** al desarrollo teórico-práctico de la arquitectura. Pero llegados a este punto, cabría preguntarnos sobre cómo podríamos interpretar el **concepto filosófico de deconstrucción** para la pintura o la escultura, áreas que mejor se enmarcan dentro de nuestra propia investigación. Por ejemplo, con respecto a la representación pictórica del paisaje Derrida (citado en Krieger, 2004) señala:

> (...) no se compone de nubes, montañas o celajes, sino que según el deconstructivismo, solo tiene pinceladas sobre una superficie que plasman signos, con lo cual, la reproducción de las figuras que conforman el paisaje estará ligada a la habilidad en la que el pintor utiliza los signos mediante su técnica expresiva y no a la propia realidad física del paisaje (p.184).

En ese sentido, Derrida (2001) en su libro *La verdad en la pintura* aborda cuatro ensayos que giran en torno a cuestiones acerca de lo que es verdaderamente pictórico y sobre como observamos o analizamos una obra de arte, especialmente en la pintura como representación de la verdad. Es en el cuarto y último ensayo, titulado "Restituciones", establece un debate entre el alemán Martin Heidegger y el lituano Meyer Schapiro (1904-1996) entorno al célebre cuadro *Los zapatos de Van Gogh* (1853-1890). En dicho ensayo, se aborda la pintura dentro de la filosofía y su relación con **la verdad**, así como el modo en que la mirada del artista dignifica su propia obra; incluso se llega a

establecer las relaciones entre el objeto pintado y el pintor, cosa que Derrida deconstruye mediante una serie de conexiones difusas.

Figura 9. Los zapatos, Vincent Van Gogh, 1886
Fuente: artehistoria.com

Derrida propone la palabra *remarquer*[5] para evitar la constante repetición de términos que quiere deconstruir como decir, mostrar, pintar o representar, porque para él la pintura es un "re-marcar" (*remarquer* en francés). En la obra mencionada encontramos dos aflojamientos abstractos entrelazados: la de los zapatos y la del cuadro, uno de ellos entendido como un producto y el otro como una obra artística.

En la pintura, el cuadro en sí, desata la figura que aparece en ella y nos hace ver que lo plasmado en ella no son un par de zapatos sino pura pintura como materia pictórica. Los zapatos son una alegoría de la pintura, un elemento de la desatadura pictórica que se autodefine como **pintura dentro de la pintura**. Por otro lado, la pintura como desatadura también tiene que entenderse como un elemento que está en unión con su origen emisor. De este modo, los zapatos re-marcan que lo que estamos viendo es un cuadro, ellos son la pintura en la pintura mediante trazos, rebordes y los cordones de los zapatos que nos desatan del sujeto. Con lo cual, los trazos que componen los zapatos se amplifican

[5] Hay que señalar que Derrida hace juegos de palabras cuando habla de “marcar”, “sobre-marcar” o “re-marcar”, ya que en francés el término “remarquer” tiene más connotaciones como: observar, señalar, notar, además de volver a marcar.

excesivamente afirmando Derrida que son más grandes que el propio marco, incluso que la firma del autor. Finalmente, también cabe la comparativa de estos zapatos con los textos de *Pulgarcito* o *El gato con botas* que también serían zapatos, en el que afirma que dentro de los zapatos podemos meter ya todo, siendo el texto más grande que el mismo zapato ilustrado y que sin embargo es más grande que él mismo. En definitiva, todo este discurso también sería un zapato. (Derrida, 2010).

1.2.2 La deconstrucción en Barthes

Como mencionamos con anterioridad, el concepto de **deconstrucción** no lo estamos usando ahora en el sentido estricto de destrucción o de exterminación, sino que adopta una forma en la que el lenguaje es el protagonista y al que tendremos que prestarle una mayor atención.

Después de que Jacques Derrida se aproximara al concepto de **deconstrucción**, el interés por parte de teóricos y filósofos, fue en aumento. Destacar entre ellos al escritor, ensayista y semiólogo francés Roland Barthes (1915-1980). Aunque para el teórico y crítico literario español José María Pozuelo Yvancos (1952), la relación de Barthes con la deconstrucción seria anterior a Derrida ya que ambos intercambiaron ideas antes de que éste comenzara a construir sus teorías en el año 1966 y puesto que Barthes ya había introducido conceptos como el de “escritura” y la idea de crítica literaria como género literario, cosa que luego Derrida incluirá.

La deconstrucción nos suscita al análisis de los múltiples significados que pueda abordar un texto obteniendo como consecuencia un amplio camino de resultados que en algún momento deberemos de concluir para no caer en un círculo vicioso. Barthes es uno de los autores que cierra ese camino, por eso adquiere una vital importancia. En su libro *El susurro del lenguaje* y concretamente en el "Capítulo II: De la obra al texto", hay varios apartados que establecen un nexo con el concepto de deconstrucción entendido como potencialidad del texto. Así, en su célebre apartado titulado "La muerte del autor", Barthes (1994), *plantea* la escritura como la destrucción de la voz y por tanto de su propio autor, siendo la muerte del autor la que genera el comienzo de la escritura. Este problema del autor, anteriormente en sociedades etnográficas no

importaba, no había una relación entre autor-obra, prevaleciendo la importancia del relato. Pero es en la modernidad cuando explota este problema siendo el autor un personaje que cobra vital importancia en la literatura, en biografías o en novelas. Dicho problema se enfoca en que los teóricos le han atribuido una mayor importancia a establecer relaciones entre autor-texto que en el propio texto en sí y para Barthes el problema se remonta al siglo XIX, cuando el autor es un personaje moderno cuya importancia impera ante todo. Sin embargo, fue con el Surrealismo cuando indirectamente la figura del autor comenzó a desligarse del texto. En ese sentido Barthes (1994) afirma:

> (...) al confiar a la mano la tarea de escribir lo más aprisa posible lo que la misma mente ignoraba (eso era la famosa escritura automática), al aceptar el principio y la experiencia de una escritura colectiva, el Surrealismo contribuyó a desacralizar la imagen del Autor (p. 68).

De este modo, con la llamada “escritura automática” se estaba dejando apartado al autor, ahora será el texto el que hablará por cuenta propia, a través del lenguaje. En la modernidad y en las vanguardias se adoptará el pensamiento de que el autor de los textos solamente escribe, y que el lenguaje conocerá a un sujeto de la enunciación, pero no a la persona en sí. Este lenguaje a su vez es el que configurará la realidad, es decir, el acto de escribir se convertirá en una *performance* cuyo objetivo no es más que el de pronunciarse a sí misma, y el de plasmar un texto libre de todo autor. Es justo en este momento cuando Barthes cierra el capítulo elevando al lector como protagonista y junto a él se descifra el sentido de la escritura y su multiplicidad de lecturas. "(...) sabemos que para devolverle su porvenir a la escritura hay que darle la vuelta al mito: el nacimiento del lector se paga con la muerte del Autor" (Barthes, 1994, p.71). De este modo el nuevo protagonista- destinatario será el que traduzca esa escritura cuya unidad no se enmarca en su origen como **autor,** sino en su destinatario **lector**.

Barthes después de haber dejado claro en el apartado "la muerte del autor", su pensamiento respecto al protagonismo del lector, en su siguiente apartado titulado "De la obra al texto", subraya que la **idea del lenguaje** y a su vez de **la obra**, está en mutación apareciendo un nuevo objeto que es el **texto**. Pero donde se halla la diferencia entra ambos, pues está en que la obra es la

porción de una sustancia que ocupa un espacio como por ejemplo el de los libros. En cambio, el texto no es algo palpable sino un sistema metodológico; la obra la podemos sustentar con nuestras manos mientras que el texto se sostiene por medio del lenguaje. El texto se experimenta relacionándolo con el signo, produciéndose un retroceso entre significado y significante, mientras que la obra se enfoca solo en un significado, es decir es como si interpretamos la obra como un signo general que es a su vez un fragmento de todos los significados que puede tener un texto en su creación. Por otro lado Barthes también destaca otra característica del texto que es la **pluralidad**. Barthes (1994) afirma: "El Texto es plural. Lo cual no se limita a querer decir que tiene varios sentidos, sino que realiza la misma pluralidad del sentido: una pluralidad irreductible (y no solamente aceptable)" (p. 77).

El lector pasa así a ser un individuo que deambula por el texto cuyo fondo abarca la multiplicidad de sustancias que provienen de códigos que ya están estereotipados. Otra cuestión es cómo se postula la obra ante una sociedad de consumo en la que la calidad de la misma, su apariencia física, la del gusto y no la de la lectura impera sobre el texto, siendo éste; el que acabará por avalar esa presunta calidad. Será el texto el que solicite al lector una colaboración con él, que pretende disminuir la distancia entre la escritura y la lectura. Pero por medio de esta práctica, el lector recae en el aburrimiento debido a esa sociedad consumista en la que el mercado y las apariencias físicas y no ya el puro lenguaje de la obra, le incapacita para desenredar, ejecutar o traducir el sentido de su mensaje.

Como broche final a las contribuciones de Barthes a la **idea de deconstrucción**, nos centraremos en otro concepto del pensador francés muy presente en el apartado titulado "Disgresiones" donde nos habla de **vacío.** En esta ocasión, para establecer una comparación metafórica con **lo lleno.** Llegados a este punto Barthes (1994) manifiesta:

> (...) y antes que nada (al menos para mí), la idea de una forma mala: lo lleno, subjetivamente, es el recuerdo (el pasado, el Padre); neuróticamente, la repetición; socialmente, el estereotipo (que florece en la llamada cultura de masas, en esta civilización endoxal que es la nuestra). En el extremo opuesto, lo vacío no debe concebirse (figurarse) bajo la forma de una

> ausencia (de cuerpos, de cosas, de sentimientos, de palabras, etc.: la nada), sino que, en este caso, somos algo víctimas de la antigua física; tenemos una idea un tanto química del vacío. El vacío es más bien lo nuevo, el retorno de lo nuevo (que es lo contrario de la repetición) (p. 91).

De este modo, su **concepto de vacío**, tiene elementos renovadores, se lee como una oportunidad abierta hacia la creatividad, y por tanto es un referente que consideramos de gran interés a la hora de concebir nuestros propios procesos artísticos. Así, tal como mostraremos más adelante, nuestras picto-esculturas, aparentemente asumen recursos como el recuerdo, la repetición o el estereotipo, pero también incorporan ese sentido del vacío que no solo es interpretable como ausencia de elementos, sino más bien como la oportunidad de incorporar **lo nuevo**, en nuestro caso nuevas tecnologías para la creación de lenguajes renovados.

Esta idea de *lo nuevo* plasma perfectamente el lenguaje de nuestra creación plástica, del proceso de ejecución de determinados materiales como los plásticos y sus derivados mediante máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC); en las que, partiendo del concepto de la deconstrucción, el vacío es lo nuevo que se representa mediante estos procesos de quitar material, dando paso a nuevas creaciones e interpretaciones de la obra plástica. Como partimos de volúmenes en 3D, la idea de vacío no solo está ligada al resultado plasmado mediante la deconstrucción misma, sino que gracias a la imagen virtual, ese vacío también forma parte de la obra, estableciendo la parte positiva y negativa, lo visible e invisible perceptualmente para nuestro sentidos.

1.3 EL ESTADO DE VACÍO

La **idea de deconstrucción** en nuestro trabajo se encuentra estrechamente arraigada al **estado de vacío**, pero este concepto tiene la suficiente ambigüedad como para mostrase abierto a múltiples lecturas en diferentes campos. El vacío suele entenderse como la ausencia del todo, donde los elementos materiales quedan en el olvido y se halla en un determinado espacio cuyo contenido interno es **la nada** o **la ausencia**. También es posible relacionar el **espacio vacío** con el **espacio exterior**, haciendo alusión a la

inmensidad del universo, y a las zonas donde la densidad material es relativamente baja; fuera de los planetas, estrellas o satélites[6].

El vacío también puede ser asociado a nuestro **interior más profundo**, al funcionamiento de nuestra **propia mente**, y a los **estados de ánimo** que se generan. De este modo, la psicología humana también ha abordado el concepto de vacío en una forma inmaterial y emocional, como es el caso del **vacío existencial** que el neurólogo y psiquiatra austríaco Viktor Frankl menciona en su libro *El hombre en busca de sentido*. Para Frankl ese *vacío existencial* puede ser ocasionado por dos perdidas fuertemente marcadas en el ser humano; siendo una la de los instintos animales que le dotaban de seguridad y otra las tradiciones que potenciaban su conducta. A ese respecto Frankl (1991) afirma:

> Carece, pues, de un instinto que le diga lo que ha de hacer, y no tiene ya tradiciones que le indiquen lo que debe hacer; en ocasiones no sabe ni siquiera lo que le gustaría hacer. En su lugar, desea hacer lo que otras personas hacen (conformismo) o hace lo que otras personas quieren que haga (totalitarismo) (p. 61)

Este *vacío existencial* lo encontramos en emociones como la ira en las que aspectos como la voz, la tensión corporal o sus expresiones invaden su cuerpo. Pero al volver a su estado de calma, esa ira no desaparece completamente dentro de su ser, sino que sigue latente hasta que algo vuelva a despertarla. Éste vacío también lo encontramos en los recuerdos, ya que tras la pérdida de un ser querido resurgen emociones por medio de proyecciones mentales donde los tenemos presentes, pero no siempre somos conscientes de esos recuerdos. En cualquier caso, existen otras modalidades de vació tal como apunta Frankl (1991):

> Pensemos, por ejemplo, en la “neurosis del domingo”, esa especie de depresión que aflige a las personas conscientes de la falta de contenido de sus vidas cuando el trajín de la semana se acaba y ante ellos se pone de manifiesto su vacío interno (p.61).

[6] Aunque realmente el espacio exterior y el vacío en general entendido en estos contextos, no es un vacío perfecto puesto alberga en él partículas e incluso materias no conocidas.

Todos los casos y ejemplos mencionados, demuestran una realidad que está oculta, enmascarada, intermitente y que nos devuelve continuamente a ese "vacío" que en función de nuestro estado de ánimo, se hará más o menos visible. Esta visión del **vacío existencial**, y del **vacío interno**, tiene un gran peso en nuestra propia producción artística, y conecta con el significado de series concretas como la dedicada a los **cráneos huicholes**, en las que está presente esta cuestión, así como otros referentes de la tradición pictórica como el *vánitas*[7].

Pero por otra parte el vacío, además de existir de forma natural, y en nuestra propia psique, también puede ser **provocado artificialmente**, teniendo diferentes aplicaciones mucho más mundanas, en sectores de la industria como alimentación, mobiliaria, minería, construcción o farmacéutica. El vacío lo encontramos también en procesos de secado dentro de estos sectores industriales mediante la evaporación por reducción de presión. Una de las ventajas del **secado por vacío** en comparación con el secado por calor reside en que algunas sustancias o productos pueden dañarse al ser sometidas a altas temperaturas. De este modo, la rapidez del secado por vacío, le confiere a este método una eficacia indiscutible a la hora de manipular alimentos como el café o frutas, componentes industriales, materiales cerámicos y de construcción, químicos, etc. Generalmente estos procesos de vaciado se realizan mediante bombas que presentan una alta tolerancia a la humedad y no trabajan con fluidos evitando en gran medida la posible contaminación de los productos con los que se trabaje[8].

Salvando las distancias, en los procesos del arte, también es posible encontrarnos con el concepto de **vacío**, sobre todo asociado a las técnicas del modelado y el vaciado. De este modo, es frecuente en la producción de obras de grandes dimensiones, la fabricación previa de moldes que serán rellenados con metales, principalmente de bronce. Dichos moldes, ya sean rígidos o flexibles, y en función de la cantidad de detalle que tenga nuestra pieza, deben facilitar el desmolde para que la imagen final no sufra ningún tipo de desperfecto. Para su fabricación se emplean diferentes materiales en función del componente

[7] Todo ello será abordado detenidamente en nuestro apartado dedicado a la producción artística.

[8] Estos tipos de bombas ofrecen un sistema de trabajo al vacío excepcional, como es el caso de las bombas de la empresa alemana Busch (1963), que aparte ofrecen sistemas de separación de los vapores extraídos, reciclándolos en estado líquido para poder seguir reutilizando dichas emanaciones.

con el que vayamos a trabajar y de la terminación que necesitemos, siendo los más empleados de látex, yeso, caucho, silicona o fibra de vidrio. Cada material requiere de un proceso específico de elaboración, por lo que los tiempos de consolidación y solidificación serán muy distintos.

Figura 10. Molde perdido realizado con escayola, proceso de vaciado

Figura 11. Molde perdido realizado con escayola, proceso de vaciado

Una vez obtenemos el molde, pasamos a reproducir la figura con continuidad vertiendo materiales como metal fundido, yeso, silicona, resina, etc. siempre en estado líquido o fluido que al solidificarse adoptara las formas del molde que lo contiene. Tras esto, realizamos el "desmoldeado", que consiste en retirar con sumo cuidado los moldes para obtener un mejor resultado de nuestra obra, siendo moldes flexibles como el látex los que mejor se adaptan a este procedimiento gracias a su fácil extracción y su durabilidad en cuanto a reproductibilidad de piezas sin desperfectos materiales.

El nombre de *vaciado* está asociado tanto a este sistema de reproducción de piezas, como a la copia obtenida tras este proceso. En esculturas de pequeño formato podemos obtener vaciados mediante bronce macizo, pero si quisiéramos realizar una pieza que abarque grandes dimensiones el sistema de vaciado en hueco es una opción mejor para reducir peso y costes, ya que con otro sistema se dispararía la cantidad de metal necesaria. Este resultado se obtiene mediante la realización de una capa fina de metal fundido que contornea la superficie de la figura y que se haya comprendida entre el molde y la composición de nuestra figura.

Fue durante el siglo XX cuando el vacío en el arte a nivel conceptual logro configurar la reciprocidad entre lo lleno y lo vacío, ya que en sus inicios estos dos términos estaban asociados; luego se produjo una competencia entre vacío y figura; y finalmente logró ser el eje central del contenido de la obra. Artistas

como el precursor del *Suprematismo ruso* Kazimir Malévich (1878-1935) o el neoplasticista holandés Piet Mondrian (1872-1944), comenzaron a realizar composiciones elogiando a “la nada” intentando plasmar expresiones sin la necesidad de representar objetos, evolucionando hacia un minimalismo visual promotor de la desmaterialización de la imagen, hasta llegar en 1918 a obras como el famoso *Blanco sobre blanco* de Kazimir Malévich (Manuel de Prada, 2002).

Pero esta fascinación por el vacío, no era nueva, ya que en otras disciplinas como la arquitectura, y en otras tradiciones como la japonesa, los conceptos ***Ku***, ***Oku*** y ***Ma***, estaban asociados a la idea de vacío, teniendo especial relevancia en el espacio urbano desde finales del siglo XIX[9]. Aunque el concepto de vacío no hubiera salido a la luz antes, ya estaba presente en el arte de la época medieval la cual fue nutriéndose con ideologías budistas por medio de la pintura ***zen,*** siendo una de sus peculiaridades la ausencia de marcos que encierren la obra. Otras características de la pintura *zen*, son la nebulosidad y la neblina elementos con los que se logra dar profundidad, por lo que la vacuidad y lo etéreo, ya estaba presente en la tradición cultural y el pensamiento japonés (Keiko Elena Saito, 2014).

En ese sentido, el concepto de vacío adquirió notoriedad ya en 1657 con el derrumbamiento en Tokyo del castillo *Edo*. "Así, en su descripción de Tokio, Roland Barthes propone igualmente un esclarecimiento instructivo de ese centro vacío que es el palacio imperial, que da, simbólicamente, sentido a la ciudad." (Maffesoli, M., 2005, p. 145).

Esta distribución urbanística es habitual en varias ciudades japonesas, por ejemplo, en Kyoto, el centro de la ciudad también tiene un Palacio Imperial donde no hay edificios, predominando el bosque como ausencia de la intervención humana. Esta es una contraposición evidente respecto al carácter de centralidad occidental en donde el centro de la ciudad siempre destaca por una mayor densidad y acumulación urbanística. En la tradición de Japón, por el contrario, la centralidad evoca a la “nada sagrada” donde nadie tiene acceso a ella.

Actualmente esa herencia oriental, comienza a tener su eco en la arquitectura occidental, acercándose a una configuración integradora con la idea

[9] El Ku junto con Kanse se unificó para formar la palabra Kuukan que significa “lugar vacío”.

de vacío, cuestión de gran interés a la hora de entender nuestro propio proyecto artístico. Otro ejemplo de configuración integradora entre arte naturaleza y arquitectura lo encontramos en *The Truffle*, 2010. Intervención paisajística del entorno de la Costa da Morte proyectada por el equipo de Ensamble Studio en 2010[10].

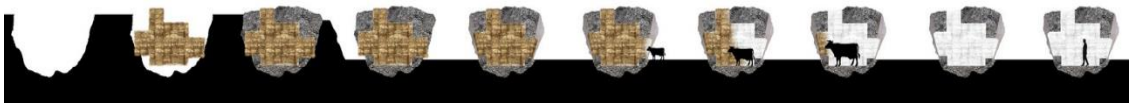


Figura 11. *TheTruffle,* 2010*.* Esquema del proceso desarrollado por el equipo multidisciplinar de Ensamble Studio en la Costa da Morte
Fuente: plataformaarquitectura.cl

Esta construcción es un fragmento de la naturaleza compuesto con tierra llena de aire, un espacio en el interior del terreno que logra integrarse con el mismo. El esquema que muestra la figura 12, resume todo el proceso en el que primero se realizó una excavación en el terreno que será el espacio vaciado de donde parta la construcción. Luego, para materializar el vacío, se emplearon unos fardos de paja a modo de bloques los cuales se iban distribuyendo en el socavón a la par que vertían por los laterales hormigón en masa junto con tierra hasta recubrir todo el hueco en su totalidad. Desde este punto de vista, el vacío pasa a ser la matriz de esta construcción, surgiendo una percepción del vacío como un espacio que se deja aprisionar por las formas. Al construir con el vacío los volúmenes se hacen realidad y es llamado por "la forma" para la realización de ese espacio, siendo éste el resultado entre la confrontación de ambos. De esta manera sale a la luz la presencia del *vacío construido* esencialmente mostrando características del espacio arquitectónico como las medidas, la armonía, la escala o la monumentalidad. Todo esto rompe con los tradicionalismos arquitectónicos puesto que ahora será el diálogo entre forma-vacío el que dé la respuesta a la propia forma; sin ese entendimiento, la forma solo se manifestará como un contenedor carente de contenido (Sol Madrilejos y Juan C. Sáncho Osinaga, 1993).

[10] Véase: https://www.ensamble.info/thetruffle

Tras esperar a que el hormigón conglomerado con tierra, paja y aire se solidificase, comenzó el desenmascaramiento del vacío. Nos encontramos como resultado una pieza sin formas concretas en las que lo orgánico y lo artificial, la tierra y la paja se funden creando un híbrido de hormigón lleno de color y textura. En apariencia, la construcción es simplemente una porción gigante de tierra en medio del espacio natural. Pero el interior se llenó de bloques de paja para dar paso a un intencionado proceso de deconstrucción totalmente natural.[11] El resultado recae en la ambigüedad entre la naturaleza y la construcción, desde las texturas rocosas y orgánicas externas e internas, hasta los cortes perpendiculares que evocan formas arquitectónicas. Ahora el hormigón como "material bruto", se torna en vacío, y lo que se trabaja es el espacio y la forma vacía que se general, de un modo simultáneo. Por último, el espacio interno fue dotado con elementos para su habitabilidad, pero manteniendo el objetivo de incorporar dentro de un fragmento construido, elementos propios de la naturaleza como el mar, el bosque, el horizonte, la lluvia, etc.

Figura 12. Parte externa e interna de *The Truflle*. Construcción del vacío
Fuente: Ensamble Studio, 2010

[11] El apetito de una ternera, tuvo un papel determinante a la hora de sacar a la luz un espacio interior de 50m3, en un proceso lento que duro un año.

1.4 MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

Las máquinas de control numérico computarizado fueron un recurso muy empleado en la industria por su gran eficacia y rapidez de trabajo en contraposición a la ejecución humana. La influencia de los procesos de elaboración de muebles, la marquetería, así como los materiales, tiene gran presencia en nuestra propia producción artística, aunque lógicamente persigan otros fines.

El sofisticado funcionamiento de estas máquinas nos abre campos en muchos sectores de trabajo, en los que gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías, será más fácil producir determinadas obras. La **deconstrucción controlada** de forma mecánica y sistemática dará paso a procesos en los que la intervención del hombre se reduzca considerablemente, dando paso a un nuevo concepto de trabajo por medio de las computadoras.

1.4.1 Los inicios de las máquinas de Control Numérico (CN)

Siempre que la humanidad ha entrado en conflictos, se han producido desarrollos tecnológicos que tras el cese de los mismos suelen aportar grandes novedades y avances para la sociedad. Este hecho lo encontramos tras la Segunda Guerra Mundial en 1945 donde se desarrolló el uso de computadoras electrónicas, dando paso al funcionamiento de máquinas y dispositivos automatizados en puesto del manejo manual, siendo el Control Numérico (CN) Pero a antes existían mecanismos como es el caso de la pianola musical, antecedentes de los nuevos sistemas automatizados, dado que ya introducían elementos como el rollo de papel perforado mediante agujeros que se ensamblan con las notas del pentagrama musical. Por medio de la rotación del cilindro donde se hallaba el papel enrollado, y mediante un mecanismo neumático por medio de fuelles, las clavijas ejecutaban el golpe de las teclas al introducirse en dichos orificios, emitiendo un sonido musical que sustituía a la mano del pianista por la máquina automatizada (Luis Schvab, 2011).

Entre 1945 y 1955 se desarrolló de un modo notable la tecnología de máquinas CN que venían vinculadas a la llegada de la electrónica mediante válvulas, relés y sistemas de cableado cuyo tamaño era mayor que el de las propias máquinas al cual se le añadía el problema de la lentitud y complejidad

de ejecución de trabajo. Durante esa década, muchos investigadores comenzaron a realizar estudios mediante prueba-error para hallar nuevas fórmulas aplicadas a estos conceptos como fue el caso del estadounidense Frank L. Stulen (1921-2010), que contratado por John T. Parsons (1913-2007), también estadounidense, comenzó a desarrollar una máquina de fresado acoplándole un lector de tarjetas de IBM con el fin de determinar los niveles de esfuerzo de las palas del rotor de un helicóptero y acelerar todos los cálculos para la Parsons Corporations[12]. Con esto lograron resolver el problema que tenían para la realización de las plantillas de perfil aerodinámico automáticamente. Fue entonces cuando las Fuerzas Aéreas se pusieron en contacto con Parsons para la construcción de aviones de combate más ligeros mediante ese nuevo sistema, porque los diseños de la época eran tan pesados que complicaban el vuelo de la nave, llevándolos a cabo conjuntamente con el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) en 1949, gracias a su laboratorio de servomecanismos[13].Pero el problema surgió con los innumerables costos de producción de esta nueva máquina, lo cual ocasionó que el MIT aun así, debido al gran auge que estaban teniendo las máquinas y herramientas en la Segunda Guerra Mundial, se decantara por experimentar con la fresadora Cincinnati Hydro-Tel, sin obtener resultados óptimos. La programación de esta máquina partía de un código binario sobre una cinta de papel perforada o un lector de cinta magnética para el control de los movimientos de la máquina sobre sus tres ejes en paralelo. Aunque éste método no era computarizado, (se acercaba a un sistema de mayor productividad), su manejo requería de personal específico para cada una de las tareas previas al trabajo de la máquina, por lo que cualquier error en la programación original suponía la nueva realización de las perforaciones sobre la cinta (Russ Olexa, 2001).

[12] Parsons Corporations es una empresa fundada por Ralph M. Parsons en 1944 que con más de 70 años e impulsada por la tecnología, está destinada a la ingeniería, construcción y a servicios técnicos industriales, que en la actualidad sigue funcionando a nivel mundial.

[13]Los servomecanismos son sistemas encargados de corregir por si solos el valor de una variable en función de las circunstancias, regulando su actividad para el logro de un objetivo. Estos sistemas son comunes encontrarlos en los robots, como son los semáforos, que no solo regulan cuándo tenemos que pasar o detenernos, sino que es posible asignarle funciones de prioridad en diferentes partes. Estos mecanismos ya existían en las antiguas cajas de música las cuales iban tocando por si solas una melodía mediante la consecución de notas automatizadas.

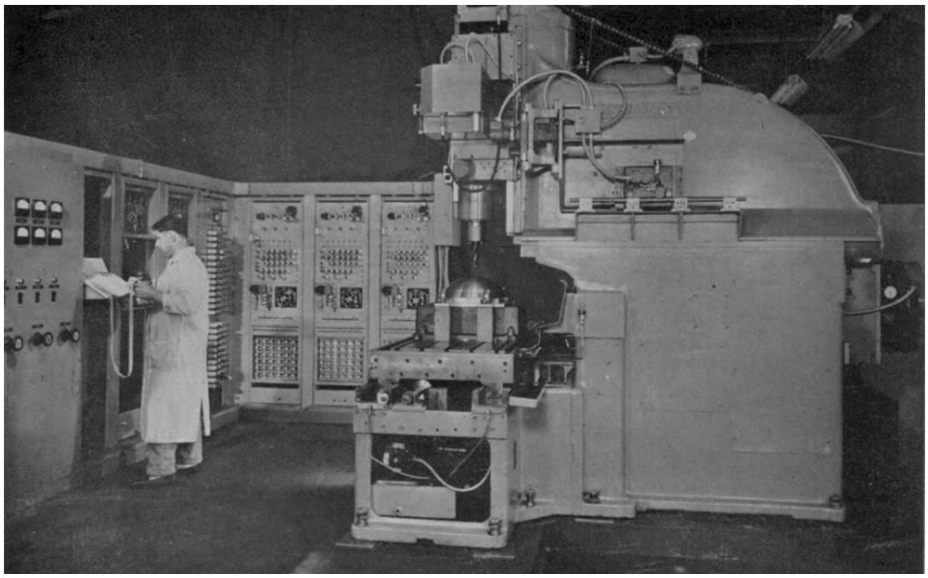


Figura 13. Ejemplo de las primeras máquinas de CN controladas por tarjetas perforadas
Fuente: Yarvick Loera, 2015

Tras esto, se produjeron muchas controversias entre Parsons y el MIT en relación a las patentes de la máquina de CN puesto que el MIT no quería que Parsons participara o asistiera a los primeros actos de demostración excluyéndolo junto a su compañero Stulen de todo elogio y justificando que el propio MIT podía demostrar la funcionalidad de la máquina mejor que Parsons. Pero tras su lucha con el MIT, Parsons consiguió la patente el 14 de enero de 1958, en la que él junto con su amigo Frank L. Stulen aparecían como inventores. Con el CN se produjeron mejoras notoriamente como las mediciones de las tolerancias de las máquinas, pero fue con la llegada de la microelectrónica la que impulsó el perfeccionamiento de éste sistema dando paso al CNC (*Computer Numerical control* /control numérico computarizado).

1.4.2 La evolución de las máquinas. El control numérico computarizado (*Computer Numerical Control* /CNC)

Las máquinas CN trabajaban siempre bajo la supervisión de un operador de forma manual, ya sea para ajustar la velocidad programada de la herramienta de corte o de la movilidad de la máquina, o para supervisar la producción de la pieza con el fin de evitar fallos o accidentes. Aunque estas máquinas no estaban computarizadas, algunas funciones como mover las piezas de corte o ajustar su refrigerante lo realizaban de forma automática.

Pero fue con la llegada de la computadora cuando se produjo un gran cambio en el sistema de CN hacia 1960, en el que se incorporaba al sistema antiguo una computadora central a través de la cual permitiera regular y editar programas a la máquina de una forma más simple y de fácil manipulación; y que al estar conectada a varias máquinas y herramientas diferentes, daba la opción de ordenar el trabajo de forma simultánea. Este sistema se conoció con el nombre de control numérico directo (*Direct Numerical Control*/DNC). Este nuevo concepto aplicado también abre campos al control numérico distribuido[14], que dará pie a conseguir una reducción de los costos de producción, una comodidad social en el sistema de trabajo y una mayor productividad por medio de las máquinas en puesto de la mano del hombre.

Durante esa época, el tamaño de las computadoras era superior incluso que el de la propia máquina de trabajo, pero poco a poco, e incluso en la actualidad, la evolución de las mismas ha adquirido un desarrollo reduciendo el tamaño de las mismas, mejorando su funcionalidad y reduciendo los costes de ventas, dando lugar al CNC.

El CNC esencialmente parte del mismo proceso de trabajo que el CN pero su principal diferencia radica en el grado de sofisticación del controlador. Las nuevas CNC permiten por medio de su computadora, la edición de los programas a la máquina como el control e información detallada acerca del proceso de manufactura; reduciendo y mejorando el trabajo ya que anteriormente se realizaba una revisión de la cinta magnética por parte del programador. Además, algunas CNC disponen de piezas que mejoran rendimientos como la velocidad de corte de forma automática para así ejecutar la pieza en el menor tiempo posible y evitar posibles fallos.

[14] El DNC (Direct Numerical Control/DNC), también conocido como control numérico distribuido se empleaba como sistema de trabajo en red con varias máquinas a la vez. Esto se debió a que a veces el sistema de almacenamiento de las CNC era muy limitado para contener programas de mecanizado complejos, por lo que se optó por el almacenamiento de los programas en una computadora separada que enviaría la información a cada una de las máquinas.

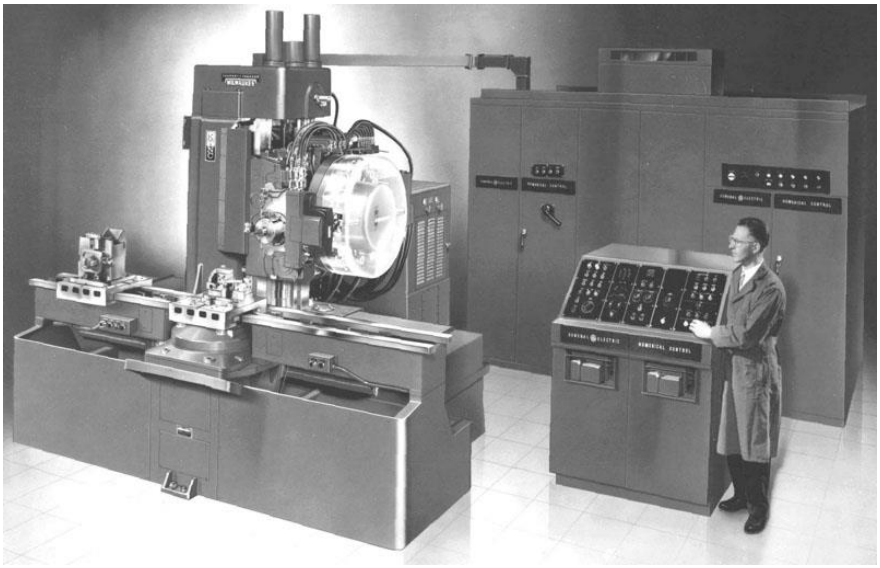


Figura 14. Primera máquina fresadora CNC con cambiador de herramientas automático, Milwaukee-Matic-II, realizada en 1959
Fuente: CNCCookBook

De esta forma el uso de las CNC se ha expandido gracias al abaratamiento de los microprocesadores a su automatización procesual, abriendo un amplio abanico de posibilidades en diferentes máquinas o herramientas tales como tornos, fresadoras, rectificadoras, máquinas de coser, de envasado, de pintura, entre otras. Para trabajar con máquinas CNC se necesitan conocimientos del uso de softwares específicos para el diseño de la pieza con la computadora, que más tarde serán mecanizados por las herramientas de la máquina en relación con los tres ejes X, Y, Z, abarcando desplazamientos longitudinales, transversales y verticales; logrando acabados que manualmente serían muy complejos de materializar tridimensionalmente. Las CNC pueden mover sus herramientas en los tres ejes simultáneamente por sí solas, sin necesidad de que una persona esté al tanto de la misma puesto que una vez realizado el programa en la computadora, la máquina se encarga de la total ejecución de los movimientos. A diferencia de éstas, los tornos de CNC solo trabajan en dos ejes, el X y Z, con lo cual, con las CNC conseguiremos la producción de piezas más complejas y una ampliación de las posibilidades de mecanizado a gran escala debido al mayor rango de movimiento, cosa que hasta hace unos años era impensable.

El término *control numérico* hace referencia a los movimientos que tiene que hacer la maquina gracias a una serie de códigos numéricos generados previamente que constituyen el programa de mecanizado de la pieza; se podría decir que es el lenguaje de trabajo para que las máquinas detecten los movimientos que tienen que hacer. Una vez la máquina detecte los códigos, será capaz de realizar cualquier forma como rostros, relieves, formas irregulares, etc. siempre y cuando estén dentro de su campo de trabajo y se disponga de las herramientas necesarias para esas piezas, debido a que en ocasiones, dependiendo de las exigencias de la pieza se necesitaran tipologías de fresas de corte diferentes, las cuales vienen determinadas por la dureza de la misma, número de labios, diámetro o profundidad de corte para conseguir la terminación deseada. Gracias a este sistema de conversión del movimiento en códigos, se logró un avance en las grandes producciones porque con las CN, la realización de un programa era muy laborioso, teniendo que indicar a la maquina manualmente todos los movimientos del proceso pudiendo extenderse a semanas (Luis Schvab, 2011).

1.4.3 Proceso de mecanizado: sin arranque de viruta y con arranque de viruta

Cuando hablamos de máquinas de CNC, es preciso aclarar previamente algunos conceptos propios de su entorno de trabajo y funcionamiento. Un término muy empleado es el *mecanizado,* que hace referencia a los procesos de eliminación de material en los que se produce una transformación de la materia en bruto o bloque con el que vamos a operar, para dar paso a obtener un resultado del diseño realizado con sus medidas aproximadas gracias a herramientas de corte o abrasión.

Pero en estos procesos de mecanizado podemos encontrar dos variantes fuertemente diferenciadas destacando el mecanizado sin arranque de viruta y el mecanizado con arranque de viruta. La primera variante, sin arranque de viruta, son procesos de mecanizado más simples puesto que en pocas ocasiones se obtienen resultados finales de acabado en sus operaciones. Por lo general necesitan de una segunda fase de mecanizado o terminación y los encontramos en procesos de: forja, laminado, prensado, estampado, doblado, trefilado,

extrusión, embutido, etc. que buscan una alteración o deformación del material original para someterla a un formato o tamaño determinado mediante distintos procesos físicos por calor o frío. Cada uno de esos procesos se realiza de una forma específica como en el caso del prensado, laminado, estampado o doblado que trabajan tanto con calor o frío; o la extrusión, el trefilado, la forja o el embutido que se trabajarán siempre por medio de calor. En ambos procedimientos se producen cambios de estado y forma de la materia dando lugar a una nueva creación que puede o no tener similitud física con la original.

Figura 15. Mecanizado sin arranque de viruta mediante forja con acero inoxidable. Proceso en frío y caliente por CNC

Respecto a la segunda variante, con arranque de viruta, como su nombre indica se produce una desfragmentación de la materia prima por medio de la deconstrucción generando una pérdida de material en forma de viruta. Pero el resultado obtenido es acorde al modelo prediseñado y con una resolución más definida que la variante anterior. Por norma general encontramos dos procesos dentro del mecanizado con CNC por arranque de viruta: uno de desbaste, que se realiza siempre al inicio del proceso como si fuera una primera pasada que lo que hace es quitar mucho material en relación a las formas prediseñadas pero sin mucha precisión de acabado, utilizando fresas con labios más bastos ya que no es el resultado final; y otro de pulido, que sería un post-proceso del anterior,

eliminando el material restante con mucha mayor precisión obteniendo un resultado final más detallado gracias a la utilización de fresas esféricas.

El mecanizado por arranque de viruta es el más usado y lo encontramos en máquinas de: fresado, perforado, cepillado, bruñido, rectificado, torneado, etc. Para cada modalidad existen herramientas específicas para el arranque de viruta de las piezas que se están mecanizando; pero también hay otras opciones de trabajo dentro de estos procedimientos determinando quién y cómo se llevarán a cabo los movimientos, es decir, en ocasiones se moverá la máquina o la pieza durante el trabajo, y los movimientos se decantarán mediante la rotación o la traslación.

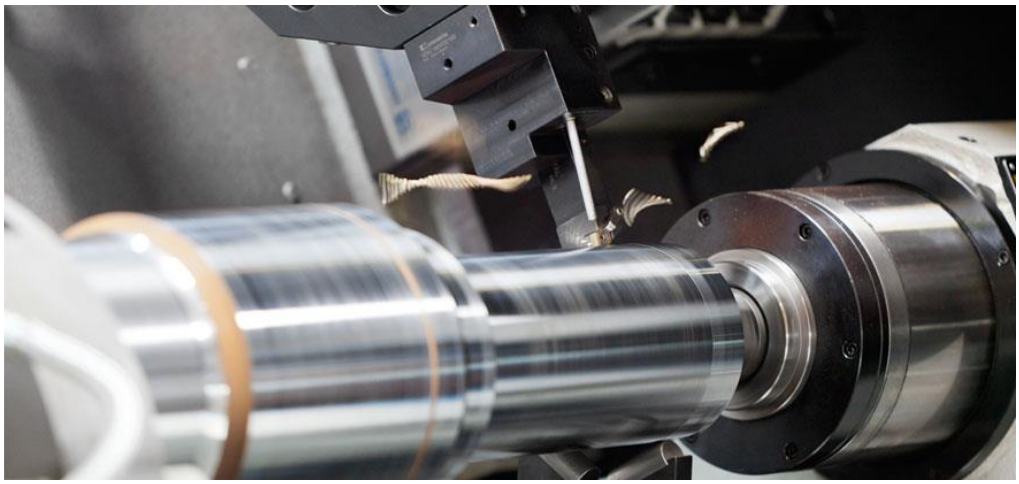


Figura 16. Torno horizontal DANOBAT TCN de cuatro ejes desbastando
Fuente: Danobat Group

Un ejemplo de estas opciones lo observamos en los cepillos mecánicos, en los que la pieza está sujeta a una base móvil y la herramienta de trabajo está fija; o en los serruchos mecánicos en los que sucede lo contrario, es la pieza la que está estática y la herramienta de corte la que se mueve. En estos dos ejemplos se está determinando quien es el que se mueve, si la pieza o la herramienta, dentro de los movimientos por traslación de la pieza. Respecto a las máquinas que emplean la rotación, un prototipo claro son los tornos, en los que el bloque está sujeto a un cabezal que gira en diferentes velocidades y la herramienta de corte está fija moviéndose en los ejes X y Z; y las fresadoras, que serían un modelo en los que la pieza se encuentra en la base de trabajo sujeta al vacío y la herramienta es la que recorre los trazos impuestos por los parámetros establecidos.

1.4.4 Funcionamiento de las CNC

Con la llegada del control numérico computarizado se amplió el uso de máquinas industriales automatizadas mediante programas de trabajo, que daban solución a la fabricación de figuras con perfiles complejos para su fabricación manual. De este modo, los nuevos procesos de manufactura pronto mostraron grandes ventajas como: mayor rapidez, precisión, seguridad, flexibilidad y una reducción considerable de desechos.

Para su funcionamiento, las CNC necesitan una serie de componentes que accionen su trabajo destacando una computadora que puede estar insertada o acoplada en el equipo o también externa, monitorizando y ajustando en todo momento la posición de la herramienta de corte por medio del software adecuado. Una combinación de servomotores y componentes de accionamiento darán lugar a la realización de operaciones de fresado programadas de forma controlada. Para comprender estos componentes de las CNC, vamos a repasarlos partiendo de este esquema general ilustrado en la figura 18:

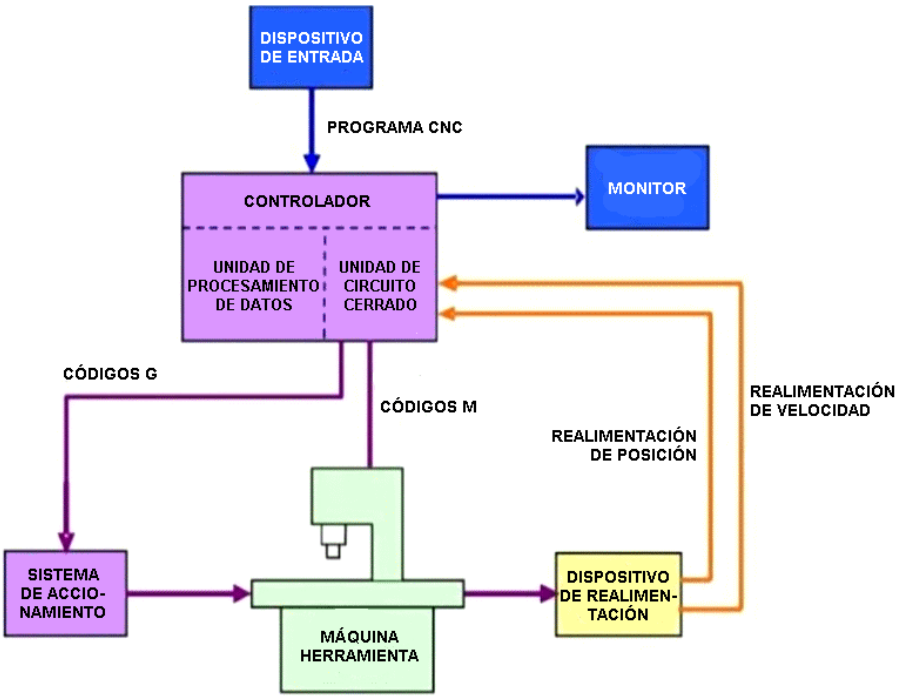


Figura 17. Esquema de funcionamiento de una CNC
Fuente: www.demaquinasyherramientas.com

Frente al complejo funcionamiento de este tipo de maquinaria, lo primero que debemos tener en cuenta es el diseño de las piezas, usando un software que sea compatible con la misma y nos permita trabajar con comodidad. Dentro de estos softwares, los programas que más se emplean son los del tipo CAD (*Computer Aided Design* / diseño asistido por computadora), que disponen de una amplia gama de herramientas y nos permiten realizar trabajos mediante dibujos en 2D y modelos 3D. Entre los más usados destacamos Rhinoceros, AutoCad, Revit, ArchiCad, SketchUp, etc. que generan archivos en formatos legibles para la máquina como IGES, STEP o DXF.

Una vez dispongamos de un modelo 2D o 3D de la pieza que vamos a mecanizar en alguno de los formatos mencionados, es importante definirlo en conjunto con nuestra materia prima de trabajo o su estado de entrada; conocer como es ese material para saber la cantidad de viruta que se va a desprender tras el mecanizado. Por tanto, una vez determinados estos dos puntos, comenzaremos con la definición del programa CNC.

Lo que tenemos que realizar en primer lugar es definir un nuevo fichero de proceso, que a su vez está compuesto por tres partes: una rama principal que es el proceso, otra que son los productos o partes que intervienen en el mecanizado, y una tercera que serían los recursos. En principio solo vamos a indagar en la rama del proceso, siendo lo mínimo indispensable que a su vez se subdivide en:

- **Partes de operación:**

Definiremos cuál es la parte a mecanizar, la máquina que vamos a utilizar y el sistema de referencias que nosotros vamos a necesitar para el mecanizado (seleccionamos el conjunto de modelo y materia prima que anteriormente definimos para abrirlo en el espacio de trabajo). Luego tendríamos que seleccionar la máquina teniendo en cuenta la configuración geométrica de la pieza, es decir, ver si nuestra máquina, en función de los ejes que tenga (generalmente entre 3-5 ejes) puede ejecutar la pieza.

A continuación, definiremos cual sería el sistema de referencias que necesitamos, que equivalen a los ejes X, Y, Z, comenzando con el establecimiento de un punto de origen o aplicación del sistema; pero también

habrá que ajustar la orientación de los ejes, puesto que el eje Z, siempre trabaja en paralelo al eje de la herramienta de corte (en nuestro caso, una fresa) de forma vertical. Esta operación se realiza por selección de las aristas a través de la cual se va a identificar el eje Z[15].Tras estos tres pasos, guardaremos ese fichero.

- **Programa de manufactura:**

Ajustaremos las herramientas de trabajo que vamos a emplear en el mecanizado para concretar aspectos de la fresa como su radio de acuerdo de la herramienta, el diámetro o el mango. Tras eso volvemos a guardar el fichero.

En segundo lugar, insertaremos las operaciones de mecanizado para poder definirla mediante el menú o la barra de herramientas del software. Luego comprobaremos cómo hemos definido la operación puesto que no la hemos ejecutado y deberemos visualizar el mecanizado (el recorrido de la herramienta) para generar un fichero en forma de nube de puntos que luego pasará a ser el programa CNC. A demás de este recorrido, una vez computada la operación podemos visualizar una simulación del corte de la herramienta de desbaste de la pieza, partiendo del material en bloque; con lo que podremos analizar el movimiento y resultado real para detectar posibles errores.

Una vez comprobemos que el mecanizado que tenemos está correcto, comenzaremos a procesar los **programas CNC**[16] ajustando algunas opciones como la ubicación de los programas o la forma de procesar dicho programa eligiendo un post-procesador. Después de procesarlo, generaríamos el **programa CNC** estableciendo el tipo de salida del archivo y su post-procesador. Al guardar el programa en una carpeta, vemos como se generan varios tipos y a nosotros el que nos interesa es el de la terminación *NCcode*.

Cuando abrimos esta extensión vemos que se ha generado automáticamente una serie de bloques secuenciales encabezados por la letra N, (tal como vemos en la figura 19), con la idea de que, si queremos insertar un

[15] Esta operación de la definición de los ejes X, Y, Z, se realizan siempre de forma conjunta. Se repetiría el proceso de selección en los ejes X e Y por medio de las direcciones de las aristas del conjunto, que serán paralelas a estos ejes.
[16]Éste archivo de corte o programa CNC es necesario para que el controlador pueda comenzar a mandar órdenes a la máquina y ésta empiece con el mecanizado.

nuevo bloque en algún momento, solamente tengamos que escribir el número de bloque y le podamos poner alguna función auxiliar.

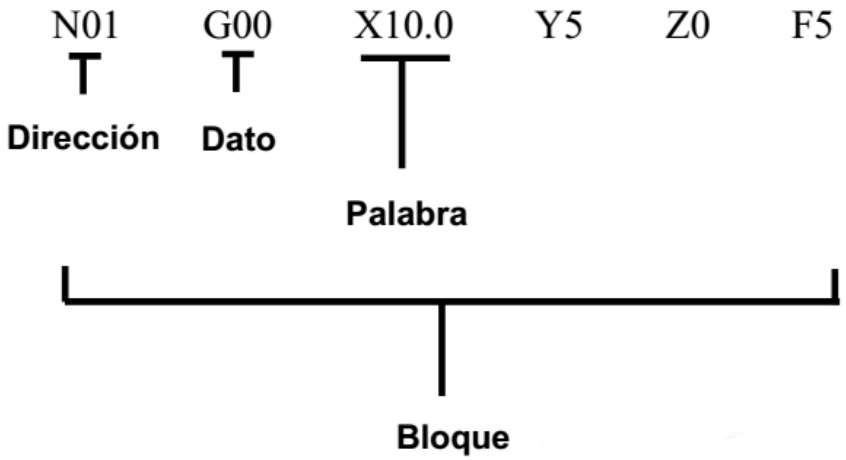


Figura 18. Bloque secuencial del programa CNC mostrándonos las ordenes de movimiento
Fuente: www.demaquinasyherramientas.com

Éste tipo de lenguaje está compuesto por **códigos-G** (instrucciones generales), los cuales nos muestran las funciones de los movimientos de la máquina como los avances lineales o circulares, pausas, ciclos de acabado, taladrado, etc. y por **códigos-M** (instrucciones misceláneas), que nos describen las funciones secundarias necesarias para la mecanización de las piezas como el giro del husillo[17], apertura de paso del refrigerante, paro del programa, etc. pero que no se corresponden con el movimiento de la máquina. Estos códigos están compuestos por variables identificadas con letras y números las cuales están definidas por el programador para la realización de cada una de sus funciones. Por ejemplo, la letra F equivale a la velocidad de avance, mientras que las X, Y, Z, tienen que ver con los ejes de movimiento.

[17] Las fresadoras CNC son muy similares a las convencionales, y una de sus partes o componentes que tienen en común es el husillo, que es un tornillo de gran diámetro que permite el accionamiento de los desplazamientos lineales de la máquina por medio de su rotación.

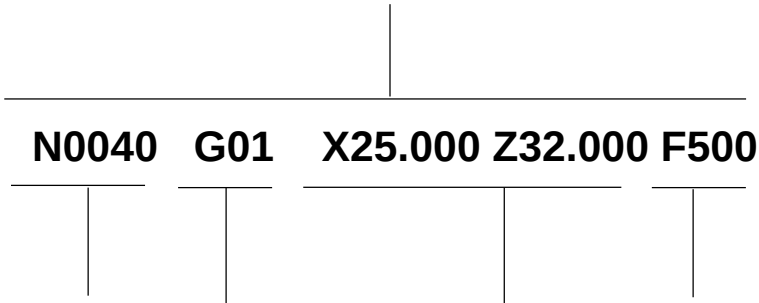
Fuente: www.demaquinasyherramientas.com

CÓDIGOS G	CÓDIGOS M
G00: Posicionamiento rápido (sin maquinar)	M00: Parada opcional
G01: Interpolación lineal (maquinando)	M01: Parada opcional
G02: Interpolación circular (horaria)	M02: Reinicio del programa
G03: Interpolación circular (antihoraria)	M03: Hacer girar el husillo en sentido horario
G04: Compás de espera	M04: Hacer girar el husillo en sentido antihorario
G10: Ajuste del valor de offset del programa	M05: Frenar el husillo
G20: Comienzo de uso de unidades imperiales (pulgadas)	M06: Cambiar de herramienta
G21: Comienzo de uso de unidades métricas	M07: Abrir el paso del refrigerante B
G28: Volver al home de la máquina	M08: Abrir el paso del refrigerante A
G32: Maquinar una rosca en una pasada	M09: Cerrar el paso de los refrigerantes
G36: Compensación automática de herramienta en X	M10: Abrir mordazas
G37: Compensación automática de herramienta en Z	M11: Cerrar mordazas
G40: Cancelar compensación de radio de curvatura de herramienta	M13: Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante
G41: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la izquierda	M14: Hacer girar el husillo en sentido antihorario y abrir el paso de refrigerante
G42: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la derecha	M30: Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio
G70: Ciclo de acabado	M31: Incrementar el contador de partes
G71: Ciclo de maquinado en torneado	M37: Frenar el husillo y abrir la guarda
G72: Ciclo de maquinado en frenteado	M38: Abrir la guarda
G73: Repetición de patrón	M39: Cerrar la guarda
G74: Taladrado intermitente, con salida para retirar virutas	M40: Extender el alimentador de piezas
G76: Maquinar una rosca en múltiples pasadas	M41: Retraer el alimentador de piezas
G96: Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante	M43: Avisar a la cinta transportadora que avance
G97: Fin de desbaste a velocidad tangencial constante	M44: Avisar a la cinta transportadora que retroceda
G98: Velocidad de alimentación (unidades/min)	M45: Avisar a la cinta transportadora que frene
G99: Velocidad de alimentación (unidades/revolución)	M48: Inhabilitar Spindle y Feed override (maquinar exclusivamente con las velocidades programadas)
	M49: Cancelar M48
	M62: Activar salida auxiliar 1
	M63: Activar salida auxiliar 2
	M64: Desactivar salida auxiliar 1
	M65: Desactivar salida auxiliar 2
	M66: Esperar hasta que la entrada 1 esté en ON
	M67: Esperar hasta que la entrada 2 esté en ON
	M70: Activar espejo en X
	M76: Esperar hasta que la entrada 1 esté en OFF
	M77: Esperar hasta que la entrada 2 esté en OFF
	M80: Desactivar el espejo en X
	M98: Llamada a subprograma
	M99: Retorno de subprograma

Tabla 1. Tabla de códigos G y M para torno CNC

La tabla que mostramos, nos muestra una clasificación de códigos G y M que utiliza un torno CNC puesto que son muy similares a los de las máquinas CNC. Un ejemplo de la lectura a rasgos generales de un bloque de trabajo sería el siguiente:

Tabla 2. Bloque de programa CNC



Número de registro

Velocidad de avance

Procedimiento a realizar:
Interpolación lineal (funciones de maquinado)

Parámetros de función de maquinado: coordenadas
Traslado del punto X=25MM – Z=32mm, mediante una línea recta

Fuente: www.demaquinasyherramientas.com

La estructura de los programas CNC siempre tiene un nombre o número identificativo, y estos archivos están compuestos por bloques sucesivos de forma ascendente con una codificación letrada y numerada, los cuales podemos modificar manualmente en caso de querer realizar operaciones intermedias. De esta forma, la numeración de los bloques puede variar, siendo de uno en uno, cinco en cinco, etc. y esto nos permitirá introducir bloques intermedios sin alterar la numeración.

A todo este proceso en conjunto de diseñar por computadora un modelo y luego pasarlo a un programa CNC compuesto por códigos se le conoce como sistema CAD/CAM. Como anteriormente ya mencionamos el termino CAD (diseño asistido por computadora) está relacionado con los softwares enfocados en el diseño digital de la pieza, y cuando hablamos del término CAM (*Computer Aided Manufacturing* / fabricación asistida por computadora), hace referencia al sistema que traslada automáticamente nuestro diseño realizado a códigos legibles o archivos de corte para nuestra máquina. Actualmente, con el software CAM de algunos sistemas tienen la opción de configurar parámetros

automáticamente como la cantidad de viruta que se va a generar tras el fresado, el tiempo que va a tardar en ejecutar la pieza, las velocidades y alturas de corte de la fresa, la corriente y voltaje del arco, etc. incrementando una mejor productividad y reduciendo los costes.

Para concluir este apartado, mencionar que el uso de programas CAD/CAM son un complemento indispensable para toda máquina CNC, por lo que para la realización de una pieza precisamos tres softwares fundamentales:

1. **CAD:** se encarga del diseño digital de la pieza.
2. **CAM:** traslada la información del CAD a la ruta de corte de la máquina optimizando el cálculo de los desplazamientos, velocidades de corte y avance, etc. de las herramientas de trabajo.
3. **Software de control** (incluido en la máquina): partiendo del archivo CAM, ejecuta los comandos de forma secuencial. Conforme va leyendo el programa, el controlador activa las ordenes de desplazamiento de la maquina como el movimiento de los ejes, la fresa o la mesa de trabajo. Además, el controlador puede modificar los programas que detecten errores así como otras funciones de verificación como los valores del tamaño de las herramientas de corte o el sistema de fijación mediante vacío.

1.4.5 Diferentes procesos de mecanizado y sus aplicaciones

Como mencionamos con anterioridad, la automatización de las máquinas en los procesos de fabricación de productos, supuso una revolución gracias a la mejora tanto de la calidad y cantidad de los mismos como de la posibilidad de fabricar objetos de alta complejidad que de forma manual se dificultaba. Esta mayor productividad genero una gran demanda en las necesidades de las industrias abriendo campo a la modernización de las máquinas que podríamos llamar convencionales, las cuales partían de una estructura y funcionamiento básico como los tornos, fresadoras, perforadoras, serruchos o rectificadoras entre otras; dando paso a los nuevos sistemas de funcionamiento como el CAD/CAM, ofreciendo una serie de ventajas significativas con respecto a estos, como la reducción de errores en el trabajo, una mayor precisión en los resultados

o el uso óptimo de las herramientas generando un menor desgaste de las mismas.

En este apartado no pretendemos realizar una catalogación de todas las máquinas que hay en el mercado puesto que es muy amplia la variedad y podríamos dividirlas mediante varios apartados, por lo que mencionaremos las más relevantes y sobre todo las que tuvieron una mayor influencia en nuestro trabajo.

1.4.5.1 El torno

Uno de los procesos de maquinado más antiguo y que a nivel mundial ha tenido más repercusión es el torneado, que consiste en que mediante una máquina herramienta que hace rotar el material de trabajo, por medio de una herramienta de corte, le va dando la forma deseada uniformemente en todas sus partes gracias al giro continuo. Pero los tornos modernos parten de este principio básico de funcionamiento, en el que la pieza inicial o material de trabajo que se ha fabricado mediante procesos ajenos como extrusión, forjado, fundición, etc., está sustentada en un plato que gira sobre su eje mientras la herramienta de corte, que está fija al *portaherramientas*, se desplaza sobre los parámetros "precargados" por medio de un programa (Luis Schvab, 2011).

Estas máquinas son muy versátiles y con los programas y las herramientas de corte adecuadas son capaces de realizar diferentes operaciones de corte (ver figura 20) como:

- **Torneado:** se puede realizar piezas tanto con formas rectas, cónicas, curvas o con ranuras; como con ejes, husillos o pasadores (figura 20, de la *a* – *d*)
- **Careado o "refrentado":** es un mecanizado frontal y perpendicular al eje de la pieza de trabajo que se produce al final de la misma, enfocado para que en el montaje posterior se acoplen mejor y tengan una mayor sujeción (figura 20, *e*).
- **Con herramienta formadora:** pensadas para producir diferentes contornos simétricos al eje para darle una terminación práctica o estética. Este tipo de corte no está pensado para realizar ranuras profundas o

aristas agudas debido a la vibración que ocasiona puesto que genera un mal acabado (figura 20, *g*).

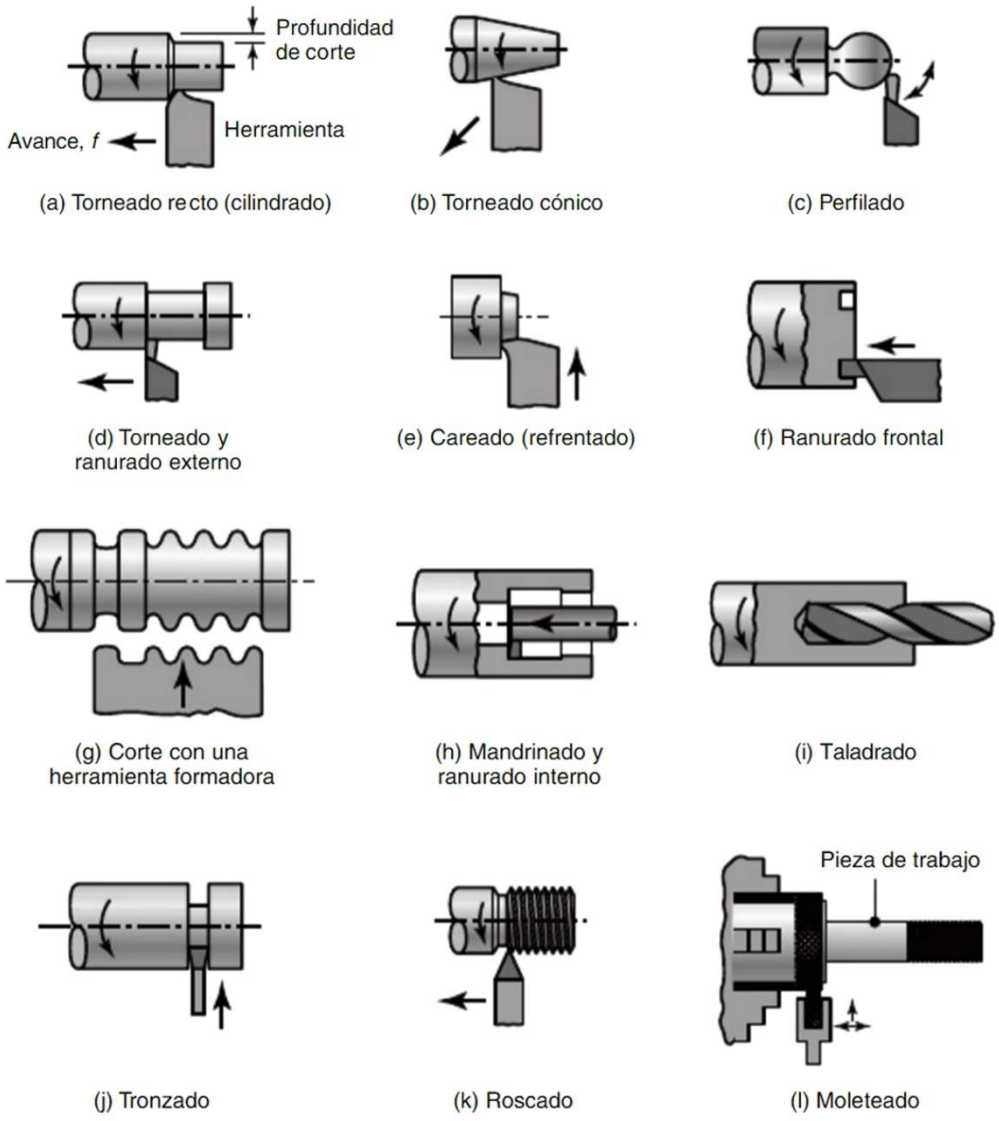


Figura 19. Ejemplos de diferentes operaciones de corte empleadas en un torno
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.675

- **Perforado o "mandrinado":** se realiza en la parte interna de piezas huecas o que previamente se les ha hecho un orificio mediante cualquier otro método como el taladrado (figura 20, *i*), para agrandar ese orificio.

También se emplea para la corrección de las partes internas, ver (figura 20, *h*).

- **Taladrado:** se emplea para la realización de orificios (figura 20, *i*), que después suelen tener que “mandrinarse” debido a que los orificios ejecutados de esta forma no son concéntricos a causa del desplazamiento radial de la broca.
- **Seccionado o tronzado:** corta o separa la pieza por un extremo de la misma. (figura 20, *j*). Esta operación se realiza al final de un mecanizado de piezas cuyo material de trabajo es alargado.
- **Roscado:** ejecuta en el material de trabajo roscas tanto eternas como internas (figura 20, *k*).
- **Moleteado:** es la terminación que se le da a una parte de la pieza en forma de textura o rugosidad regularmente para facilitar el agarre de la misma. Este proceso se hace en frío gracias a la presión ejercida por rodillos que tienen el perfil de la silueta que se va a generar.

Por otro lado, los tornos están fabricados por una serie de componentes y accesorios que conviene describir de forma general. El tamaño de los mismos determinará el diámetro y la longitud de la pieza a mecanizar, encontrándose adosados al suelo para evitar en la medida de lo posible las vibraciones.

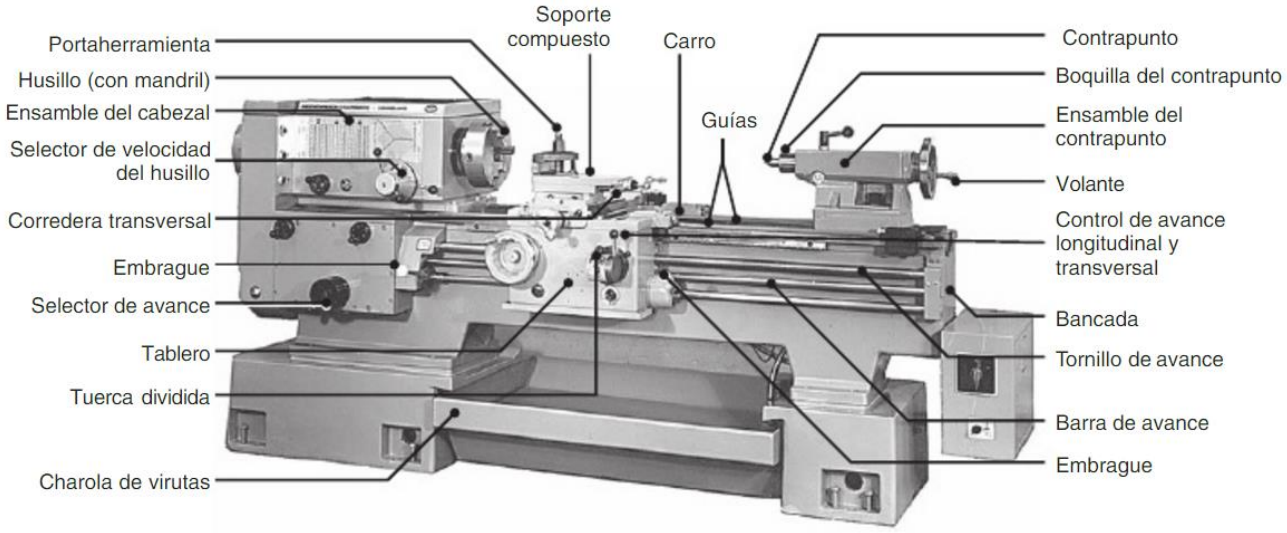


Figura 20. Partes generales de un torno tradicional
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.677

Algunos de estos componentes los podemos observar en la figura 21, gracias a la cual describiremos brevemente los más significativos como **la bancada**, que es el esqueleto sobre el cual se apoyan los componentes principales del torno. En la parte superior de la misma, destacan dos guías paralelas ahuecadas en el medio que mejoran la precisión durante el torneado. Sobre estas se desliza por todo su largo el carro, que está constituido por la **corredera transversal**, **el portaherramientas** y **el tablero**[18]. Por otro lado, en la parte superior izquierda se encuentra **el cabezal**, que está fijado en la bancada, provisto de motores y poleas que suministran la energía al **husillo**[19]mediante una gama de velocidades de giro variables. La barra de avance funciona por medio del cabezal, girando durante el funcionamiento del torno y facilitando la movilidad al carro y a la corredera transversal. Por último, estaría el carro de contrapunto, que se encuentra a la derecha de la bancada y también puede deslizarse a lo largo de las guías. Sirve para colocar herramientas de perforación o para sujetar el elemento a mecanizar, coincidiendo con el eje del cabezal estático (S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015).

1.4.5.2 La fresadora

A parte de poder mecanizar perfiles en la parte interna o externa de la pieza como en el torneado, uno de los procesos de mecanizado con precisión más versátil y tras el cual podemos obtener la realización de piezas más complejas es el fresado, que consiste en que gracias a una herramienta de corte (por lo general una fresa) que funciona mediante rotación, va extrayendo la materia prima a modo de viruta mientras trabaja por sus diferentes ejes en relación con la pieza a mecanizar, que se encuentra firmemente sujeta en la mesa de trabajo. Existen otros procesos de maquinado como el cepillado de mesa móvil, en el que es la mesa donde se encuentra la pieza sujeta la que se mueve y no la herramienta de corte; o el aserrado, en el que por medio una hoja

[18] El carro, a lo largo de las guías, podrá efectuar movimientos de traslación paralelo al eje de la pieza. En su parte superior estaría la herramienta de corte situada en el portaherramientas gracias al apoyo del soporte compuesto. La corredera transversal se mueve controlando la posición radial de la herramienta de corte, y el tablero está compuesto por elementos que permiten al carro moverse de forma manual o mecanizada gracias al tornillo de avance.

[19] El husillo es un elemento tubular que en un extremo tiene conectado la polea que acciona el movimiento de la máquina, y en el otro extremo, un plato mordaza para la sujeción de la pieza a mecanizar gracias al contrapunto que se encuentra en el otro extremo de la bancada.

de corte con sientes (sierra), secciona el material por medio de su recorrido, sin casi extracción de material.

Dentro de los procesos de fresado existen varios métodos muy diferentes que operan con una gran variedad de fresas en función del trabajo a realizar como:

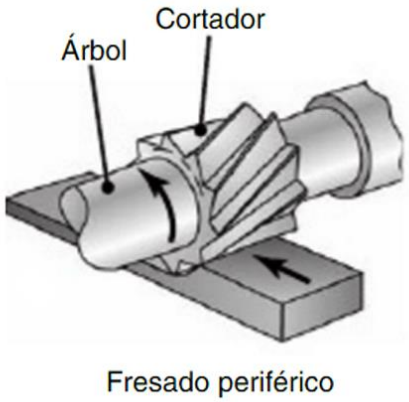


Figura 21. Esquema de funcionamiento del fresado periférico
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.725

Fresado periférico o simple: la herramienta de corte, que por lo general es de *acero súper rápido*[20], rota sobre el eje paralelo a la plataforma de trabajo. La fresa puede constar de dientes o labios rectos o helicoidales por toda su circunferencia. Generalmente los helicoidales son más comunes porque el diente trabaja parcialmente sobre la materia, reduciendo las vibraciones y obteniendo un resultado más suave.

Fresado convencional y concurrente: en la figura 23 apreciamos como la herramienta tiene la opción de cortar en ambas direcciones de giro. El fresado convencional o *fresado hacia arriba*, destaca por generar un máximo espesor de las virutas al finalizar el corte y por la realización de un corte fino siempre y cuando la herramienta esté bien afilada. Por otro lado, puede suceder que la herramienta genere vibraciones y la pieza se desplace hacia arriba a causa de la dirección de la rotación, por lo que la sujeción de la misma será un factor fundamental a tener en cuenta.

[20] Las herramientas de corte pueden estar fabricadas de diferentes materiales, siendo el acero uno de los más concurridos. En el apartado final de este capítulo analizamos la evolución de los materiales, así como la del acero como material de corte, siendo el acero súper rápido o de alta velocidad (High Speed Steel/ HSS) uno de ellos.

Respecto al fresado concurrente o *fresado hacia abajo*, el corte de trabajo se inicia donde la viruta es más gruesa. Una de las ventajas de este proceso es que el factor hacia abajo hace que la pieza no se desplace, pero debido a las fuerzas ocasionadas por el impacto de los dientes de la fresa, la sujeción tiene que ser rígida y estable, eliminando el retroceso del avance de la mesa.

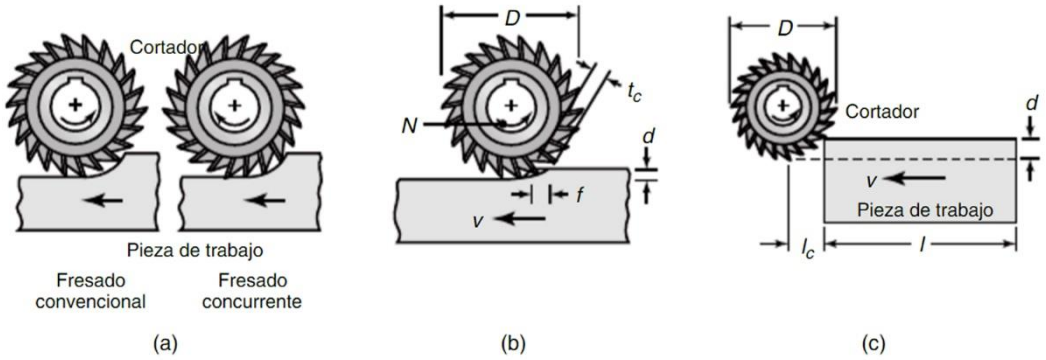


Figura 22. Esquema de funcionamiento del fresado convencional y concurrente
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.726

Fresado de careado o refrentado: la herramienta de corte opera en el eje de rotación en perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. La dirección de la rotación de la herramienta determinará si el fresado es concurrente o convencional. Debido al movimiento cíclico de los dientes de corte de la herramienta, que a su vez suelen tener insertos de carburo (ver figura 24), el fresado mediante careado deja marcas sobre la superficie, por lo que el ángulo de avance del inserto incrustado en la herramienta, influirá en el espesor no deformado de la viruta. Al aumentar el ángulo de avance, el espesor de la viruta disminuirá, pero su anchura se incrementará debido a que aumenta la longitud de contacto entre el inserto y la materia. La relación establecida entre el diámetro de la herramienta junto con los ángulos de los insertos y su posicionamiento respecto a la superficie a mecanizar es fundamental debido a que delimita el ángulo de entrada y salida del inserto en la pieza[21].

[21] Ajustando estos parámetros obtendremos resultados más pulidos y alargaremos la vida a las herramientas y evitaremos que se astillen, conservando su filo de corte y tenacidad por más tiempo.

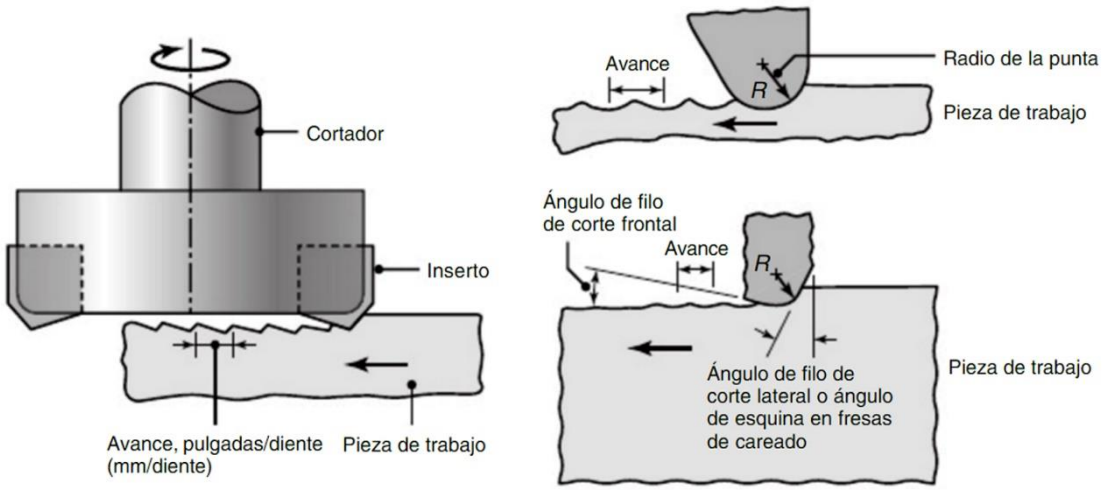


Figura 23. Esquema de las marcas del fresado careado mediante diversos insertos
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.730

Fresado frontal: es el método de trabajo más empleado y en el que en nuestro proyecto personal nos apoyamos ya que nos permitió mecanizar superficies con distintas curvaturas y con una gran variedad de perfiles. La herramienta de corte llamada fresa frontal, dispone de un zanco recto, empleado para superficies de menor tamaño; o de un zanco cónico que se usa para superficies mayores. El material de fabricación de las fresas frontales suele ser de acero HSS o mediante insertos de carburos.

La fresa trabaja mediante rotación en un eje perpendicular a la superficie donde se encuentra la pieza a mecanizar, desplazándose linealmente a lo largo de los tres ejes principales X, Y, Z, aunque también cabe la posibilidad de trabajar en ejes complementarios como el B y W.

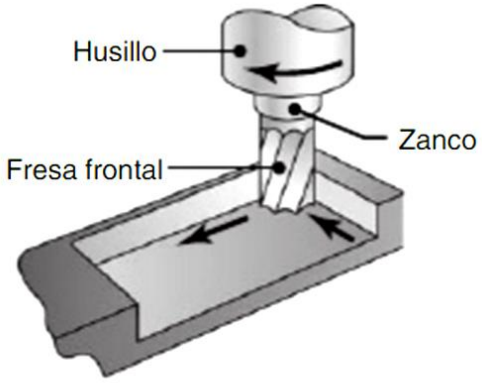


Figura 24. Esquema de funcionamiento del fresado frontal
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.725

Dentro de este tipo de fresas, podemos encontrarlas cilíndricas con: un extremo esférico o de bola, que es perfecto para la terminación o fase final del mecanizado, obteniendo resultados con los bordes más suaves y pulidos; con punta plana, ideal para el proceso de desbaste[22] y para quitar material de forma más rápida; con ranuras en forma de “T”, cónicas, angulares, etc. Mediante el fresado frontal se pueden maquinar varias superficies a varias profundidades que en función de la fresa y la capacidad de la máquina, trabajará a una profundidad y altura máxima en el eje Z. La superficie de trabajo también delimitará el tamaño longitudinal y transversal de la pieza.

Una vez nombradas algunas de las posibles herramientas y procesos de fresado, presentaremos una breve catalogación de las distintas máquinas que anteriormente remarcamos, para ver cómo esta metodología de trabajo se propagó mediante varias alternativas y aplicaciones. Podríamos agruparlas según varios aspectos como en función del número de ejes que intervienen en el mecanizado (desde tres ejes hasta cinco), por la orientación de los mismos (fresadoras horizontales, verticales y universales) o fresadoras especiales (cepilladora, centros de mecanizado, fresadoras CNC, copiadoras, circulares, de puente móvil, de madera, etc.), pero simplemente mencionaremos las principales puesto que el sistema de funcionamiento, así como sus partes móviles, son muy similares a las convencionales:

[22] El proceso de desbaste suele realizarse con fresas más robustas puesto que lo que interesa es la extracción del material sin importarnos el acabado. Tras este proceso, se trabaja con una segunda pasada más pulida con fresas esféricas con menor diámetro para darle un mejor acabado. El proceso de desbaste previo es necesario para ahorrar tiempo en el pulido y para evitar que la herramienta se fragmente.

Fresadora tipo columna y codo: son las más expandidas en el mercado y estarían enmarcadas en función de la orientación de sus ejes. El husillo sobre el que se sustenta la herramienta de corte les permite trabajar tanto en horizontal, para operaciones de fresado periférico, como en vertical, para fresado frontal, careado o refrentado (ver figura 26).

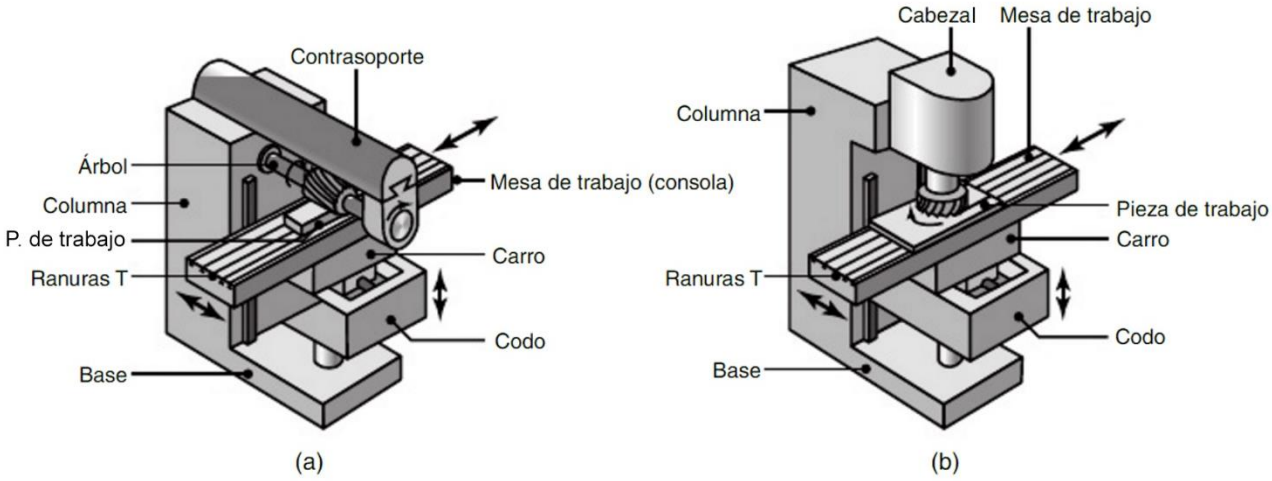


Figura 25. Partes de una fresadora tipo columna y codo de husillo horizontal (a) y mediante husillo vertical (b)
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.738

Los componentes fundamentales de las fresadoras guardan cierta similitud entre todas ellas y con los tornos, por lo que las mencionaremos con más detenimiento en este punto:

1. Mesa de trabajo: es la que sustenta firmemente la materia prima con la que vamos a operar por medio de las “ranuras T”, contando solo con dos movimientos horizontales de translación: longitudinal y transversal. Este último movimiento el que realmente lo ejecuta es el carro, sobre el cual se apoya por medio de sus guías.
2. Carro: sujeta la mesa de trabajo y solo se puede mover transversalmente.
3. Codo: plataforma en forma de cajón donde se acopla el carro y permite mover verticalmente a mesa, por lo que la profundidad del corte estará delimitada por el accionamiento del codo. Por otro lado, nos da la opción de trabajar con piezas de diferentes alturas, pudiendo ajustarlas al trabajo.

4. *Contrasoporte* o brazo superior: se encuentra situado en la parte superior de la estructura de la máquina y lo encontramos en fresas horizontales. Sustenta y transmite el movimiento de rotación del husillo.
5. Cabezal: lo encontramos en fresadoras verticales y es la pieza que sustenta al husillo. En estas fresadoras, el cabezal tiene la opción de poder girarse sobre el plano vertical sobre la columna para el mecanizado de piezas más complejas como canales helicoidales o formas cónicas.
6. Husillo: es el lugar donde se coloca la fresa y el que le transmite las vueltas en RPM (revoluciones por minuto) gracias al árbol o eje de sujeción. Dicha rotación está regulada por la caja de velocidades que se halla interna en la columna o estructura, por debajo del eje del husillo.

Fresadora tipo bancada: a diferencia de la anterior, la mesa de trabajo se halla sobre la bancada directamente, la cual sustituye al codo y solo puede realizar movimientos horizontales longitudinales. Este tipo de fresadora no es tan funcional como el resto, pero su robustez la convierte en una buena opción para trabajos que impliquen un alto volumen de piezas. Una de las ventajas por las que se caracterizan es que disponen de varios husillos tanto a nivel horizontal como vertical, permitiendo operar con dos o tres superficies simultáneas dentro de una misma pieza de trabajo.

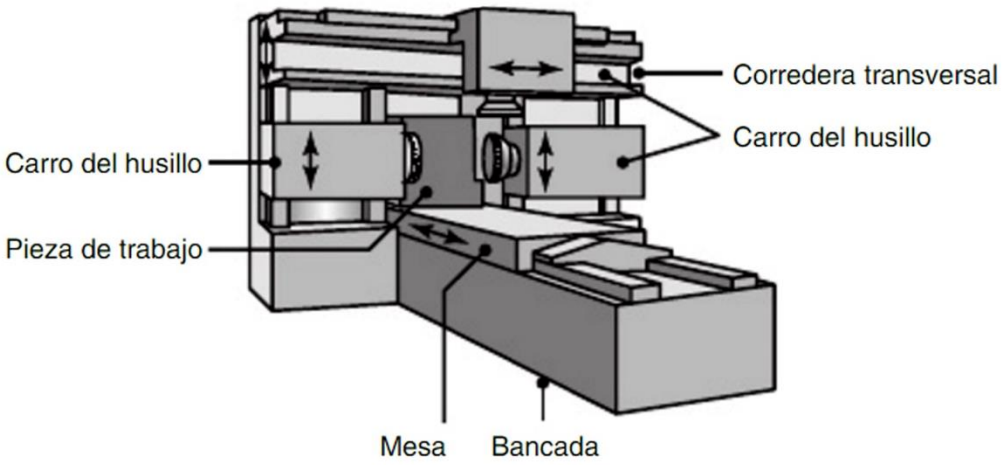


Figura 26. Partes de una fresadora tipo columna y codo de husillo horizontal (a) y mediante husillo vertical (b).
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p.739

Otras fresadoras: la gran variedad de sistemas de fresado se expande hasta el punto de complicarse una agrupación homogénea de las mismas. Una de las más destacadas son los centros de maquinado[23], que destacan por la posibilidad de realizar in situ diferentes operaciones de mecanizado bajo el control de una computadora. Otro ejemplo sería las fresas cepilladoras, que trabajan con formas simples como con secciones con canales o muecas por todo el largo del material de trabajo. Suelen trabajar con superficies grandes y con una trayectoria en línea recta.

Pero poco a poco, las máquinas fresadoras están siendo obsoletas debido a las máquinas de control numérico computarizado (*Computer numerical control*/CNC), que tienen una estructura muy similar a las convencionales y disponen de las mismas partes móviles. Pero la gran diferencia radica en que estas no operan con palancas o manivelas de accionamiento, sino que una computadora integrada en la misma junto con un controlador y sistemas de accionamiento, regulan el funcionamiento de los motores que sustituyen el trabajo que hacían las antiguas palancas (ver apartado 2.5.3). Esta combinación de electrónica con motores o servomotores dan lugar a una multiplicidad de operaciones de maquinado.

Respecto a los ejes de funcionamiento, en este tipo de máquinas la fresa se desplaza por los tres principales por toda la mesa de trabajo:

- Eje X: asociado a los movimientos en el plano horizontal longitudinal de la superficie de trabajo.
- Eje Y: vinculado a los movimientos en el plano horizontal transversal de la superficie de trabajo.
- Eje Z: se asocia a los movimientos verticales del cabezal donde va montada la herramienta de corte.

En el caso de que la fresadora trabaje con una mesa fija, el cabezal se desplazará por estos tres ejes; pero cuando la pieza a mecanizar es más compleja, necesita del apoyo de más ejes de trabajo cuya trayectoria no sea

[23] A diferencia del resto de las máquinas, automatizadas o no, que solo pueden realizar un mismo tipo de trabajo como torneado, cepillado o taladrado, requiriendo un post-proceso de manufactura para su terminación final; éstas parten del concepto de la realización de varios tipos de maquinado sin la necesidad de retirar la pieza de trabajo dentro de un mismo dispositivo.

estrictamente lineal. Aquí es donde reside la versatilidad del concepto de CNC debido a la amplia posibilidad de acoplar ejes complementarios, como el B y W, mediante controles individualizados o mesas de trabajo movibles

Figura 27. Partes de una fresadora CNC SBM-3114
Fuente: https://frs-cnc.com

1.4.6 Ventajas y desventajas de este proceso

Como toda nueva tecnología dentro del sector de la producción, siempre suelen presentar ventajas y desventajas en la manufactura de productos que posteriormente requieren de un análisis. Con éste, se conseguirán hallar soluciones del funcionamiento de las mismas para poder comprender las opciones que nos presentan las CNC. Algunas de las ventajas básicas dentro de los parámetros de producción descritos con anterioridad serían las siguientes:

- La posibilidad de producir piezas con exactitud y con un alto grado de complejidad. Gracias al CNC el desarrollo de piezas como superficies en 3D con relieves y gran cantidad de detalle es perfectamente viable.
- Una mayor seguridad y precisión con respecto a las máquinas manuales, pudiendo operar con productos más consistentes gracias al fresado a

altas velocidades y con tolerancias imposibles de obtener de forma manual.

- Una mayor producción por medio de las máquinas, disminuyendo los tiempos de ejecución de las piezas gracias entre otras cosas a la eficacia de los tiempos de desplazamiento mediante la fijación de piezas por vacío y a la rapidez de los posicionamientos de las herramientas con los sistemas de control.
- La ausencia de la necesidad de un amplio número de operarios, supliéndolos por las máquinas y reduciéndolos a un número determinado para el control y la supervisión de las mismas.
- Se reducen los errores de los operarios puesto que, al partir de programas digitales, podemos simular el mecanizado y observar si tiene fallos previamente.

Como desventajas dentro la utilización de las CNC como nueva tecnología, dentro de este análisis podríamos clasificar las siguientes:

- Un considerable aumento de los costos de producción ascendiendo hasta casi el doble que de empleando máquinas manuales. También el costo de las herramientas, los recambios y los múltiples accesorios auxiliares de las máquinas aumentan teniendo que realizar una elevada inversión.
- Un aumento de las tareas de mantenimiento hasta casi un 50% más que en las convencionales, produciéndose detenciones en la producción de los productos.
- La necesidad del conocimiento y la capacitación de estas nuevas tecnologías por parte del operario. Ahora es obligatorio operar con softwares específicos para poder realizar un programa CNC previo al mecanizado de la pieza, ya que las herramientas de corte y la secuencia de operaciones tienen que estar ajustadas de forma correcta.
- Reducción de personal en las empresas en puesto de las máquinas, que deberán de trabajar de forma continua y en serie para mantener un volumen de producción amplio y poder compensar su elevado precio y mantenimiento.

- Falta de recursos y opciones para solventar posibles errores en caso de tener algún fallo inesperado. Al ser todo mecanizado digitalmente, si se produce algún error a mitad de proceso, por ejemplo, no se puede subsanar en contraposición con los métodos convencionales.

1.4.7 Expansión de los nuevos materiales y herramientas de corte

Durante 1980 se planteaban cuestiones en relación a la escasez de las reservas mundiales de tungsteno, por lo que muchos fabricantes de herramientas de metal duro comenzaron a buscar alternativas en su fabricación mediante pruebas con diversos compuestos, llegando a recurrir a materiales ya empleados con anterioridad. En ésta búsqueda permanente para la optimización de los mecanizados destacaron de forma significativa los componentes cerámicos obtenidos por sinterizado de polvos como el **óxido de aluminio** o el **nitruro de silicio**[24], y adiciones de otros óxidos como el de cromo, magnesio, hierro, etc.

Las cerámicas poco a poco se fueron perfeccionando, consiguiendo una solidez del compuesto final que mejoraba cada uno de sus componentes por separado. En sus inicios predominaban las tonalidades claras como el blanco, pero pronto, incluyeron nitruro, carburos de titanio o niobio, destacando una tonalidad más oscura, predominando el negro. Estos nuevos formatos dieron buenos resultados expandiéndose por medio del mercado japonés y alemán, que fueron los principales productores a nivel mundial de herramientas de compuestos cerámicos.

Otro compuesto que destacó fue el **nitruro de boro cúbico** (*Cubic Boron Nitride* / CBN) es un compuesto binario de boro y nitrógeno, que apareció en 1957 bajo la compañía General Electric gracias al científico estadounidense Robert H. Wentorf, Jr. (1926-1997). Este descubrimiento se halló tras varios

[24] Dentro de las cerámicas, algunas de las que más repercusión tuvieron fue el nitruro de silicio (compuesto químico de nitrógeno y silicio), un material duro y con buena resistencia al desgaste y a los choques térmicos por lo que una de las aplicaciones en las que se emplea este material es como componente en los motores de vehículos de última tecnología (empleo en las levas debido a su mejor funcionamiento frente al desgaste o en los calentadores de los motores diésel facilitando un mejor arranque). También podemos encontrar este compuesto como aislante eléctrico o en forma de chips y gracias que soporta altas temperaturas, se puede emplear como metal fundido o en piezas que soporten desgastes continuos.

intentos de crear un diamante artificial, obteniendo como resultado el segundo material más duro, conocido como Borazon. Actualmente se emplea en las industrias de corte como sustituto del diamante por excelente resistencia al desgaste y a grandes presiones, en áreas de trabajo como la aeronáutica, siderúrgica o automotriz. El costo de su fabricación es elevado y las propiedades del material de corte pueden variar mediante la alteración del tamaño del cristal, su contenido y el tipo de aglomerante, dando pie a una mayor versatilidad de calidades ajustables para nuestros cortes.

El último ejemplo que vamos a mencionar de modo introductorio es el **diamante policristalino** (*Polycrystalline Diamond*/PCD), un compuesto de partículas de diamante unidas mediante sinterizado el cual fue desarrollado en la década de los noventa. Por su dureza, lo convierte en un material muy resistente frente al desgaste, pero carece de estabilidad a altas temperaturas y se disuelve con facilidad con metales ferrosos. Por tanto, la utilización de herramientas de PCD están limitadas a mecanizados con materiales abrasivos no ferrosos, no metálicos o compuestos tales como plásticos reforzados con fibra de carbono, resinas, nylon, PVC, etc. que requieran de un acabado con alta precisión.

Generalmente los materiales más duros en cuanto a términos de mecanizado, nos permiten trabajar con mayores velocidades de corte, pero al ser menos tenaces, requieren de una velocidad de avance menor para evitar posibles roturas. Por tanto, aquellos planteamientos acerca de la posible escasez de las reservas de tungsteno para la producción de metales duros quedaban obsoletas ya que actualmente se producen hasta un 65% de herramientas de corte con estos materiales a nivel mundial. Todos estos desarrollos con nuevos materiales, supusieron una revolución en el mercado del mecanizado del siglo XX, provocando notables mejorías en las condiciones de uso de las herramientas y un mayor rendimiento de las máquinas (Luis Schvab, 2011).

1.4.7.1 Acero

Gracias al estadounidense Frederick Winslow Taylor (1856-1915) se estandarizaron y categorizaron las herramientas de corte, centradas en el tipo de material. Taylor comenzó a investigar con aceros aleados agregándole tungsteno en bajas cantidades, obteniendo un material que al calentarlo hasta casi su temperatura de fusión adquiría una propiedad la cual llamó “rojo cereza” o dureza al rojo. Este descubrimiento se caracterizaba por conservar la dureza de temple del material hasta altas temperaturas que solo mediante el calor de la fricción del corte podrían generarse. A estos tipos de aceros se les denominó *aceros rápidos*, generando la fabricación de una amplia gama de herramientas. Algunas de estas herramientas podríamos clasificarlas en:

- **Herramientas positivas:** destacan por trabajar con ángulos de corte agudo, enfocadas en el corte de materiales con altos contenidos en plomo, latón, aluminio y aceros inoxidables. Se emplean cuando la máquina genera mucha inestabilidad y tiene poca potencia.
- **Herramientas neutras:** sus ángulos de corte no son tan agudos como la anterior. Trabajan con aceros más estables y con bronce, cobre o titanio. Las encontramos en mecanizados a nivel general para la corrección de imperfecciones.
- **Herramientas negativas:** los ángulos de corte son rectos. Su trabajo está limitado a la deformación del material que trabajemos puesto que no operan con cortes. Los materiales empleados son cualquier tipo de acero o materiales duros. Requieren una maquinaria de más potencia respecto a las dos anteriores.

Con el tiempo Taylor mejoró sus herramientas gracias a la introducción del vanadio en su composición, mejorando su dureza y resistencia. Tras estas innovaciones muchos fabricantes que trabajan en la producción de herramientas de acero, realizaron numerosas pruebas hasta que lograron introducir mayores porcentajes de cobalto, entorno al 12%, mejorando nuevamente el rendimiento del material. Este resultado se conoce como *acero súper rápido* o de alta velocidad (High Speed Steel/HSS).

Tanto el acero rápido como el súper rápido se emplearon para la fabricación de herramientas de corte enfocadas en máquinas como los tornos, empleadas para el desbaste o la terminación; pero con el tiempo comenzaron a aparecer en el mercado de las fresadoras, produciendo una amplia gama de fresas tales como: cilíndricas helicoidales de distintos pasos, de disco con varios cortes, frontales de diferentes durezas, con acanalados, etc. y una gran variedad que supuso un avance en el concepto del mecanizado por medio de estas herramientas. Actualmente las más comunes en el mercado son las fresas cilíndricas de dos, tres y cuatro cortes, y las hojas de sierra de cinta.

1.4.7.2 Metal duro

Los **metales duros** operaban a mayores velocidades de corte que **los aceros rápidos,** prestando mejores rendimientos desde el momento de su aparición, pero aun así, tuvieron que competir en el mercado de las herramientas. Otra de las ventajas era que las herramientas de metal duro podían mecanizar más piezas en menor tiempo, teniendo que afilar la herramienta con mucha menos continuidad entre pasadas. Los factores determinantes en este tipo de herramientas son las condiciones que prestan ante el mecanizado, puesto que las fuerzas generadas en los cortes se focalizan en un punto de contacto, liberando la energía generada a condiciones de mayor temperatura. De este modo, el *metal duro*, una vez más presentaba otra mejora respecto a su rendimiento a altas temperaturas, ya que soportaba mayores intensidades.

Aunque presentaba muchas mejoras, el metal duro no era tan accesible debido a su elevado coste y a la necesidad de máquinas específicas que solo algunas compañías se podían permitir. Pero tras esto, surgió una alternativa partiendo de las referencias y normalizaciones de F.W. Taylor, que era la de un mejor aprovechamiento del material puesto que, en los diseños anteriores siempre se usaba un extremo de la herramienta la cual cada vez que precisaba, se iba afilando hasta conseguir que quedar el mismo perfil que antes.

Figura 28. Fresas de metal duro integral cilíndricas helicoidales con diferentes tipos de cortes
Fuente: http://inderca.com/web/?page_id=62

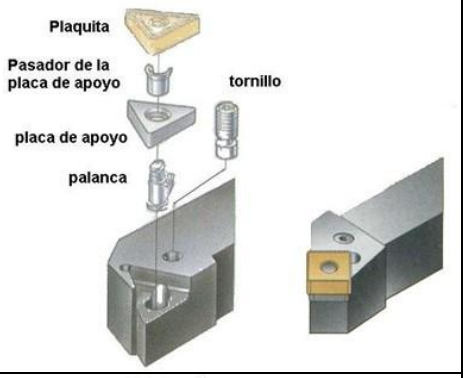
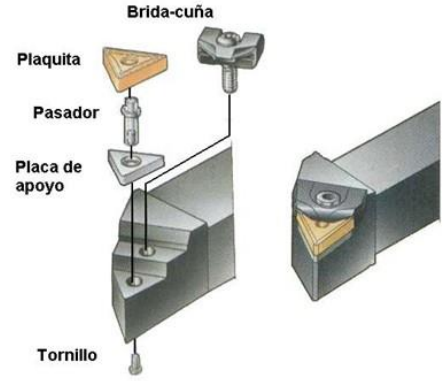
Pero la solución para abaratar costes fue la de seccionar **el metal duro** en “barritas” o placas de pequeño formato que a posteriori se soldaban a un material más económico encajando perfectamente. Gracias a esta invención, pudieron competir con las herramientas de **aceros rápidos** puesto que el costo era casi el mismo pero el rendimiento mucho mejor.

La forma de estas nuevas herramientas era muy variada, aunque destacan dos tipologías:

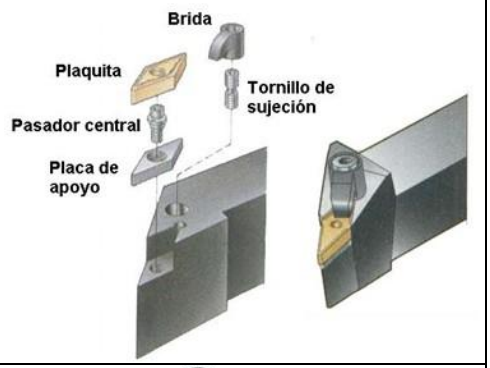
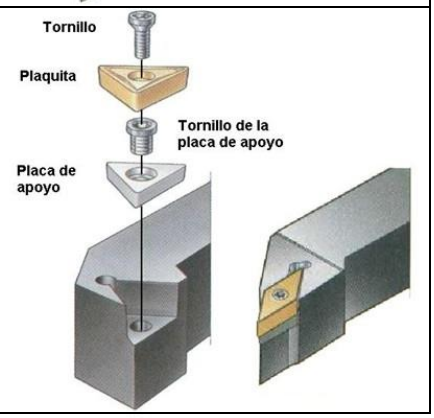
- Unas en las que la placa de **metal duro** iba soldada a un soporte en forma de mango o barra. No se utilizaron con mucha frecuencia y esta práctica se abandonó con el tiempo.
- Otras denominadas *insertos*, las cuales permitían utilizar el metal duro sin necesidad de soldarlo al mango, ofreciendo un mayor desempeño en el mecanizado. Este sistema consistía en un fragmento de metal duro presentado en diferentes formas y tamaños, como cuadrada, de diamante, triangular o redonda, con varios puntos de corte en una o ambas de sus caras poligonales (un inserto cuadrado tiene ocho puntos de corte mientras que uno triangulas seis). Éste se acoplaba en el extremo

de un mango o portaherramientas que contaba con una cavidad la cual permitía que la porción de metal duro encajara y se sujetara mediante diferentes sistemas (ver tabla 3) como con: una brida, tornillos, palancas o cuñas[25]. Una vez desgastado el filo de corte, se aflojaba la brida para desplazar el inserto de metal duro hasta su otro filo y volver a sujetarlo, evitando tener que afilarlo nuevamente tras su desgaste. Este sistema se patentó con el nombre de *Kendexgracias* a la empresa proveedora de herramientas y materiales industriales americana Kennametal (S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015).

Tabla 3. Tabla de los métodos de montaje de insertos en portaherramientas

SISTEMA DE FIJACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	**IMAGEN DE LAS PARTES**
Sistema por palanca (P). Muy buena estabilidad. Diseñada para desbastes ligeros, acabados y perfilados. Cambio del inserto con facilidad. No dificulta en el mecanizado la salida de la viruta.	
Sistema por brida (C). Adecuada para el mecanizado interrumpido. Exactitud del filo. Alta precisión en el mecanizado de copia. Para insertos sin agujero.	

[25] Los sistemas de sujeción de los insertos varían en función del mecanizado con el que vayamos a operar. Del mismo modo, estos sistemas se encuentran normativizados por normativas ISO, destacando cuatro categorías mediante letras en las que la P, el inserto está fijado a través de una palanca, la C con una brida, la S por medio de un tornillo y la M con una cuña.

Sistema por brida-tornillo (M). Gran dureza. Muy buena estabilidad. Exactitud en la posición. Diseñada para operaciones de copiado exterior.	
Sistema por tornillo (S). Requiere poco espacio. Mecanizado con diámetros pequeños en interior. Desde un desbaste exterior a un buen acabado de piezas pequeñas.	

Fuente: http://www.demaquinasyherramientas.com

El empleo de estas herramientas de metal duro se extiende hasta nuestros días cubriendo las necesidades de cualquier tipo de mecanizado gracias a una variedad de formatos y aplicaciones con herramientas como fresas estáticas, con varios filos, giratorias, brocas, machos, etc., que siempre habían estado en el dominio casi exclusivo de los aceros rápidos.

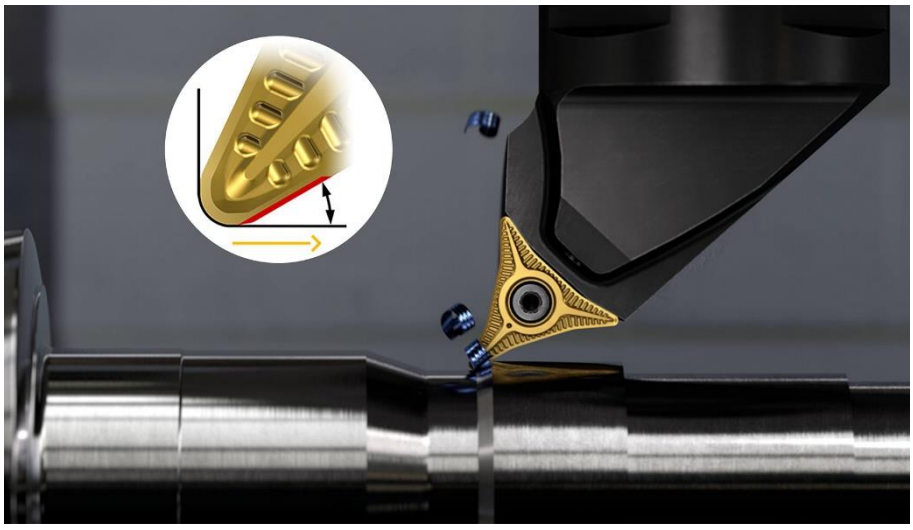


Figura 29. Torno CNC trabajando con inserto de metal duro mediante el método PrimeTurning™
Fuente: http://www.sandvik.coromant.com

Por último, cabe destacar que la mayor parte del metal duro, proviene de carburos reciclados o reacondicionados de herramientas desgastadas, ahorrando energía en su proceso de producción, puesto que requiere menos materia prima virgen. Con su producción mediante reciclaje, se consigue también una disminución de la emisión de dióxido de carbono en el medio ambiente y una reflexión acerca de que toda materia prima es finita.

1.4.7.3 Recubrimientos

Otra gran mejora se produjo a finales de 1960 con la llegada de las herramientas recubiertas. Estas partían de herramientas originales a las cuales, mediante un proceso de recubrimiento con finas capas de carburos, que oscilaban en 3 o 4 micrones de espesor, aumentaba tanto la dureza de filo, como la tenacidad de las herramientas. Con este nuevo concepto se rompía la regla de que, en los metales duros, al aumentar la resistencia al desgaste, disminuía su tenacidad.

Estos se elaboraban mediante procesos químicos o físicos, permitiendo la adición de materiales cerámicos, siendo los principales: el nitruro de titanio (*Titanium Nitride*/TiN) que se caracteriza por su apariencia dorada, el carburo de titanio (*Titanium Carbide*/TiC), el óxido de aluminio (*Aluminium Oxide*/Al_2O_3) que es de color negro, y el carbonitruro de titanio (*TitaniumCarbo-Nitride/*TiCN), existiendo otras estructuras, pero casi siempre intercambiando estos compuestos (Luis Schvab, 2011).

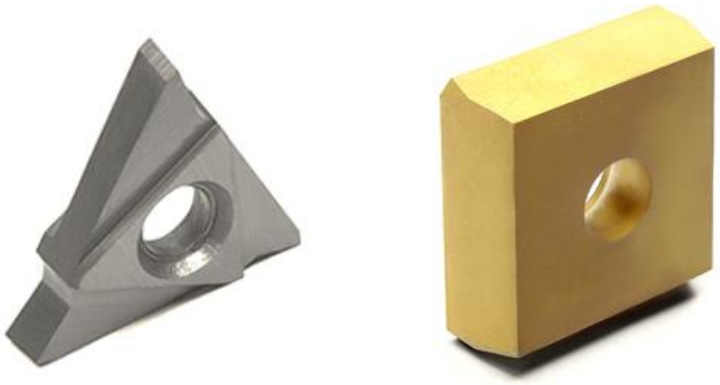


Figura 30. Inserto de metal duro sin recubrir e inserto recubierto
Fuente: http://www.rectificadosctv.com/

Estas mejoras entre la combinación de capas de recubrimientos con los substratos de las placas han dado lugar a una nueva generación de metales duros recubiertos. Estos pueden disponer de una o varias capas depositadas unificando las diferentes posibilidades que ofrece cada material. En cuanto a los métodos de recubrimientos, podemos discernir dos técnicas modernas:

- **Deposición química de vapor** (*Chemical Vapor Deposition*/CVD): es el método que ampliamente más se utiliza, generando un recubrimiento homogéneo e uniforme. Destaca en las herramientas de carburos con fases múltiples o recubrimientos cerámicos.
- **Deposición física de vapor** (Physical Vapor Deposition/PVD): se emplea más con recubrimientos TiN, destacando su resistencia en los filos de corte, su baja fricción y su escasa tendencia a la formación de cúmulos en los bordes.

La eficacia de los recubiertos se ve reflejada en función de la alta dureza a elevadas temperaturas, su estabilidad química respecto a la composición del material de trabajo, su baja conductividad térmica para evitar temperaturas altas en el sustrato y su escasa porosidad para una mejor resistencia. Los recubrimientos de TiC y de Al_2O_3 al ser materiales de extrema dureza, proporcionan una buena resistencia al desgaste del cráter y del flanco, a temperaturas elevadas y una baja conductividad térmica; produciendo una película frente al calor ocasionado entre herramienta y material. Por otro lado, los de TiN, su coeficiente de fricción es muy bajo, soportan temperaturas altas y una mayor resistencia al desgaste por lo que mejorará la utilidad de cualquier tipo de herramienta a largo plazo.

Todas estas combinaciones suman herramientas que abarcan más campos de trabajo posible y que poco a poco hemos incorporado a nuestro repertorio. Todas estas propiedades las podemos aunar en el uso de recubrimientos de *fases múltiples* o *multifásicos*. Ya existen herramientas en las que se depositan dos o tres capas de recubrimientos como, por ejemplo: una primera capa de TiC sobre el sustrato, la cual sirve de unión con el mismo; una segunda capa de Al2O3, que actuará de capa intermedia y de unión entre

ambas; y una tercera y última capa de TiN que aportará una elevada resistencia frente al desgaste y una baja conductividad térmica (S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015).

1.4.7.4 Características fundamentales de una herramienta de corte

Uno de los requisitos fundamentales para trabajar con herramientas de corte es la selección de un material que se adecúe a las operaciones de maquinado que vayamos a realizar. Para enmarcar este capítulo, realizaremos un breve análisis de las propiedades y características fundamentales para el trabajo, ayudándonos a su selección. Sin embargo, el conocer las propiedades del material en sí, a veces no es suficiente, por lo que es recomendable realizar estudios o pruebas con las mismas para contrastar dichas informaciones.

Las herramientas de corte trabajan arrancando el material debido a que posee cualidades como la dureza o la resistencia diferentes a la pieza que con la que se está trabajando. Por consiguiente, el material de fabricación de una herramienta de corte de caracterizarse por:

- **Su dureza:** sobre todo frente a elevadas temperaturas (dureza en caliente), por lo que mantendrá su resistencia a altas temperaturas y al desgaste continuo de la herramienta. Esto evitará en la medida de lo posible, que la herramienta se deforme. En la figura 32 observamos la dureza de diferentes materiales de herramientas de corte en relación de la temperatura. La dureza y la resistencia de la herramienta están condicionadas a la dureza y resistencia del material a maquinar.

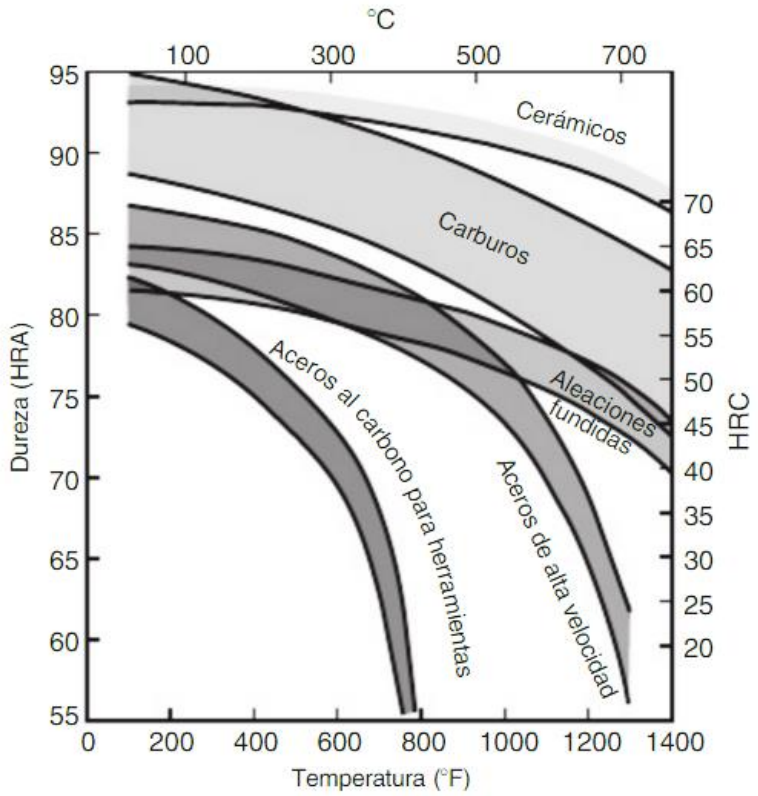


Figura 31. Dureza de diferentes materiales para herramientas de corte en función de la temperatura
Fuente: S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015, p. 648

- **Su tenacidad:** las herramientas en las operaciones de mecanizado sufren constantemente pudiendo ocasionar fracturas en la misma, sobre todo en torneados o fresados; por lo que deberá tener una alta tenacidad para soportar las fuerzas de impacto y las vibraciones generadas en estos procesos.
- **Su resistencia al desgaste:** no solamente frente a la abrasión ocasionada en una de las caras de la herramienta tras el contacto con la materia, sino a la capacidad de soportar el desgaste de cualquier forma para así poder mantener el filo de la herramienta por más tiempo antes de su reemplazo. Es importante que sea resistente para producir cortes interrumpidos, como en el caso del fresado.
- **Su estabilidad química:** frente al material con el que vayamos a operar, para evitar que cualquier posible reacción química o adversa que pueda

favorecer el desgaste de la herramienta. Deberá ser químicamente inerte frente al material de trabajo.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que las características óptimas para una herramienta específica en operaciones de maquinado, a veces pueden crear contradicciones respecto a sus propiedades de corte. Por ejemplo, los HSS son tenaces, pero presentan una dureza en caliente limitada; mientras que los materiales cerámicos resisten altas temperaturas y desgastes, pero tienden a astillarse o fracturarse debido a su fragilidad (S. Kalpakjian y S. R. Schmid, 2015).

CAPÍTULO 2

LA CONSTRUCCIÓN COMO CONCEPTO Y MODELO ARTÍSTICO: EL USO DE LAS MÁQUINAS DE IMPRESIÓN EN 3D

2.1 CONCEPTO DE CONSTRUCCIÓN

El estudio de las técnicas y procedimientos de realización de las obras de arte siempre ha estado ligado a la enseñanza dentro del campo de las Bellas Artes, puesto que por medio de esa técnica, les permiten a los artistas su creación y el desarrollo de planteamientos conceptuales y estéticos. Fue en el *Quattrocento* italiano, cuando arquitectos, pintores y escultores comienzan a considerarse como “artistas” o creadores por medio de sus innovaciones, en las que predominaba el intelecto y su capacidad expresiva por encima del anonimato. Es entonces cuando surge el nacimiento del concepto de “autor” y con ello la noción de taller, en el que es el maestro el que recibe los encargos que posteriori trabajará con sus ayudantes. Pero en aquel momento, esas artes no estaban diferenciadas del resto de oficios artesanales, y fue un largo periodo el que tuvo que pasar para que la pintura y la escultura adquirieran un rol individualista dentro de las Bellas Artes.

Hoy en día, la evolución del arte, nos ha llevado a un momento donde los límites de la creatividad, están basados claramente en parámetros donde el peso intelectual y conceptual de las obras, está muy por encima del valor estético o procesual. Sin ánimo de entrar en la consideración siempre discutible de que cualquier época pasada es mejor; pero también siendo muy conscientes de que los avances en la historia del arte, no son siempre de carácter lineal y ascendente, se precisó entender, que para el desarrollo pleno de la creatividad artística, es necesaria una mínima curiosidad por los procesos que permiten su materialización. Hoy es muy frecuente encontrarnos con grandes lagunas en el campo del conocimiento relativo a los procedimientos artísticos empleados por los artistas de nuestra época. Las causas pueden estar, por un lado, en esa tendencia fomentada por la crítica, donde lo importante del proceso creativo es la idea, y por otro lado, la pereza, o incluso la ocultación que hace el propio artista de sus llamados "trucos de Taller". Estas dos realidades, consideramos que pueden ser nefastas en cuanto a que dificultan el modo de transmitir entre generaciones los logros de los artistas. Es cierto que el concepto tiene un grandísimo peso en la elaboración de las obras, pero no es menos cierto que tanto los materiales como los procesos generan su propio discurso, su elección nunca es inocente por parte del artista, y acaban siendo el vehículo de sus fines expresivos. Por consiguiente, se hace necesario su estudio, y en la medida de lo posible, dado

que la aplicación práctica de esos procesos, tienen la oportunidad de convertirse en investigaciones que permitan nuevas formas de relacionarse con las obras. En ese sentido, una de las últimas técnicas aplicadas a las bellas artes como son las máquinas de control numérico, y las impresoras en 3D, deben de ser estudiadas, no ya simplemente como fórmulas mecánicas de reproducción. Si no como potenciales herramientas que nos lleven a nuevas ideas y formas de pensar y en consecuencia a nuevas formas de crear. En ese sentido, animamos a sumergirnos en ese territorio de técnicas y materiales, tantas veces menospreciado por la crítica, pero igualmente imprescindible para entender las metodologías, los procesos, y la evolución de las manifestaciones artísticas. El conocimiento del material en sí, transciende a su propia naturaleza, y desvela una serie de acontecimientos más allá de sus cualidades, que resumen en muchas ocasiones el tiempo cronológico y el pensamiento de las obras realizadas con él. En nuestro caso, las impresoras en 3D, y su creciente democratización para el arte, darán como resultados nuevas capacitaciones para su manejo relacionadas con ese bagaje cultural heredado por siglos de historia.

Solo basta con revisar la evolución de las técnicas pictóricas y escultóricas junto con sus materiales en las historia del arte, fenómenos como la generalización del lienzo y la pintura al óleo en el renacimiento, la escultura de fundición en bronce, la acuarela mediante pigmentos secos, el soporte en papel, etc.; para observar como las obras de arte se encuentran definidas por sus propios materiales, que son los que en muchas ocasiones nos determinan el estilo o corriente artística a la que pertenecen o por aspectos como la técnica de ejecución que el propio artista realizó, dejándonos ver la habilidad e intencionalidad gracias a sus representaciones (Alegre Carvajal, E., Perla de las Parras, A. y López Díaz, J., 2016).

Para la **construcción** de la obra, es necesario, conocer el material con el que se va a trabajar; y cuando hablamos de conocer no nos referimos solo al conocimiento de una técnica como pueda ser el óleo o la acuarela, sino a un conocimiento científico del material y de su composición. Cuando por ejemplo se trata de un material o de una técnica nueva, como pueda ser la vinculada a la impresión en 3D, la falta de documentación, nos obliga a plantear verdaderos ensayos de laboratorio, donde las pruebas realizadas, nos permitirán decidir el potencial artístico del material. El empleo de nuevos materiales en el arte procedentes de la industria química como polímeros sintéticos que derivan en una gran cantidad de variantes como plásticos, pinturas industriales, resinas sintéticas, siliconas, espumas o adhesivos, requieren de un

estudio previo para garantizar su entendimiento y adecuación a la práctica artística. Las nuevas texturas, colores y acabados, desde lo brillante hasta lo satinado, pasando por preciosos perlados, han hecho de esos "plásticos", unos materiales pictóricos muy populares entre los artistas actuales. Pero el continuo avance tanto de la industria como de la tecnología, no deja de sorprendernos, incorporando a esa infinidad de plásticos ya mencionados, otros que nacen en exclusiva para dar soluciones a nuevos métodos de trabajo. Precisamente dentro de ese contexto, abordaremos en este capítulo, el mecanizado mediante impresoras 3D. Sus nuevos procesos y materiales; no son para nosotros sustitutos en sí, de otras posibilidades técnicas, por lo que nuestra pretensión intentará aunar los resultados de la impresión en 3D, con otras técnicas experimentales tradicionales de las artes como: el collage, la pintura acrílica o el proceso de dorado.

Como toda nueva tecnología, la adaptación de estos nuevos sistemas y formas de trabajo, en la construcción de universos creativos, obliga a contrastar infinidad de resultados. Por un lado, para nosotros es un reto apasionante, dado que es una línea todavía con mucha proyección, pero por otra, tiene la dificultad añadida de encontrarnos con muy pocas publicaciones, siendo en la mayor parte de los casos, procedentes de otros campos científicos muy diferentes al nuestro. En cualquier caso, las pruebas desarrolladas, nos animan a seguir incrementado el catálogo de obras donde los procesos constructivos, conformen soportes, capaces de hablar por sí mismos. Aunque también es posible, que la naturaleza constructiva de esos procesos industriales, sea camuflada y enmascarada por la fusión de técnicas tradicionales, o al incluir la idea de **deconstrucción** como estrategia que nos permita dar visibilidad a elementos invisibles confinados en la propia materia.

Pero antes de comenzar a hablar de estos nuevos procesos y materiales, nos gustaría establecer una breve aproximación hacia el concepto de **construcción**, ya que es la base del funcionamiento de las impresoras 3D por medio de la superposición de capas. Este concepto engloba muchas áreas pero las que más se acercan a nuestro entorno serían la arquitectura, pintura y escultura, por lo que haremos un breve repaso de ese fenómeno en las disciplinas mencionadas.

2.1.1 Arquitectura

Es lógico asociar la idea de la construcción con la arquitectura, al existir campos o áreas que implican o se les atribuye ese concepto como cuando hablamos del “sector de la construcción”, puesto que forma parte, al igual que las ramas industriales y energéticas, del sector de la economía. La arquitectura siempre ha tenido características inherentes como la de resguardar y alojar al ser humano, siendo esta una necesidad básica; o la de imponer una técnica o estilo constructivo identificable con una época o momento histórico determinado. Pero sobre todo, una de las características fundamentales de la arquitectura persigue su longevidad, es decir, que sea capaz de mantenerse o conservarse el mayor tiempo posible. Para alcanzar dicho propósito, es fundamental el empleo de materiales cuya estabilidad esté plenamente garantizada.

Estos materiales determinan las técnicas constructivas que se van a emplear, pudiendo dividirlos en dos grupos en función de su comportamiento: por un lado estarían los materiales que operan mediante compresión (aplastamiento), y por otro lado, los que trabajan por flexión. Las técnicas de construcción casi siempre incluyen estas dos tipologías, de tal modo que la compresión y la flexión, dan acceso a toda la historia de la construcción.

Toda construcción en la arquitectura está precedida de una estructura[26] o esqueleto que la sostiene, pudiendo levantar o detener la edificación, siendo ésta, determinante a la hora de confeccionar los volúmenes y los espacios. Dicha estructura tendrá que soportar diversas fuerzas, pudiendo destacar tres tipos como son la compresión, la flexión y la tracción, siendo determinante las cualidades físicas de los materiales empleados. Por tanto, cuando se produzca un fenómeno que implique compresión, como pueda ser un aplastamiento o el peso que un muro tenga que soportar, lo racional es dirigirse a materiales muy resistentes como la piedra, conglomerados, las diferentes versiones del barro cocido y los hormigones. En una edificación, los materiales también pueden determinar ciertos elementos que tienden

[26]La estructura de una edificación es la base de toda construcción, pero cuando nos adentramos en el mundo tecnológico de las impresoras 3D, ese concepto poco a poco se va difuminando y unificando ya que será el propio material de impresión el que adopte las formas prediseñadas, sin necesidad de realizar una estructura previa. En algunos casos, dependiendo de la complejidad de la figura y de su disposición en el espacio, necesitará del apoyo de una estructura de soporte, que más tarde será desechada.

a la verticalidad, y que siempre están presentes garantizando una óptima resistencia como puedan ser en este caso las columnas, muros o pilares.

El segundo grupo, impuesto por el fenómeno de la flexión, nos mostrará como ciertos elementos constructivos en las estructuras tienden a doblarse. Uno de los elementos que más encontramos son las vigas, dispuestas horizontalmente y construidas con madera en la mayoría de los casos. La madera es un material que soporta muy bien la presión ejercida por distintas fuerzas desembocando en su propia flexión, pero sin llegar a romperse. Otro material que también soporta muy bien este fenómeno es el acero, que también lo podemos encontrar en los cables tensores de los puentes.

Los materiales por tanto, dentro de la evolución histórica de la arquitectura, definirán claramente su aspecto estético fenómeno que va desde las construcciones tradicionales con materiales próximos a su entorno de edificación, hasta la revolución de los nuevos materiales industriales como: el acero, hierro fundido, cristal, acero inoxidable o el hormigón armado.

En líneas generales podemos decir que las construcciones tradicionales, mantenían una mímesis con el entorno del paisaje, dada la proximidad de las materias primas utilizadas (pizarra, arenisca, cuarcita, caliza), el barro o la madera (roble o castaño). Partiendo de estos, surgieron también materiales mixtos o complementarios como entramados de vegetales o madera y barro, cal y barro o forjados en madera. Las construcciones que predominaban en esta fase preindustrial eran las adinteladas, donde se observó que dos elementos verticales podían soportar un tercero y el espacio pasaba a un segundo plano como sucede en los dólmenes históricos, en la Arquitectura Egipcia, o en la Grecia Clásica. Del mismo modo, las formas abovedadas, fueron un gran hallazgo que revolucionó los principios constructivos de la arquitectura, basado en un arco o elemento curvo que cubría un espacio mediante la unión de dos puntos sin apoyos intermedios. Éste método constructivo, es característico en la arquitectura romana, y medieval románica (Alegre Carvajal, E., Perla de las Parras, A. y López Díaz, J., 2016).

Fue en el siglo XIX cuando con los nuevos materiales se renovó la arquitectura tradicional, de tal modo que el empleo del hierro, el vidrio, o el cristal, dotó de nuevas formas a las construcciones, aligerando visualmente su aspecto, y reforzando sus estructuras con los nuevos conocimientos adoptados de otras disciplinas como la

ingeniería. Esta escuela estaba ligada a la Revolución Industrial junto con los avances tecnológicos en los que los ingenieros se planteaban dudas como el tipo de construcciones que se iban a generar, enfocándose en la funcionalidad de cada uno de los materiales empleados. Nuevos planteamientos surgieron como el de la construcción ligada grandes infraestructura como puentes, estaciones de tren, viaductos, mercados, etc. También es la época de las grandes Exposiciones Universales, donde los distintos países participantes, competían entre sí con verdaderas maravillas de la ingeniería y de la arquitectura. Muchos son los ejemplos que podríamos mencionar entre ellos la icónica *Torre Eiffel* en París. Esta idea revolucionaria consistía en crear un espacio innovador donde mostrar las novedades y los avances en construcciones con materiales y estructuras novedosas. Fue en Londres en 1851 donde se llevó a cabo la primera, dejándonos como legado arquitectónico entre otros: el museo Victoria and Albert, de Ciencias, de Historia Natural y el propio pabellón de la Exposición Universal del arquitecto y paisajista especialista en invernaderos Joseph Paxton (1803-1865) conocido como Palacio de Cristal. Esta construcción fue el resultado de un concurso de proyectos de bajo coste en el que Paxton consiguió materializar con hierro y vidrio, una superficie que evocaba a un gran invernadero sin muros, lleno de luminosidad donde los árboles residían en su interior mimetizándose con un entorno puramente industrial. Por desgracia, este Pabellón fue destruido a causa de un incendio en 1936, y del cual solo quedan los planos, las ilustraciones del proyecto, y fotografías.

La edición de 1889 en París, de la Exposición Universal dejó dos grandes obras: la *Sala de las Máquinas*, realizada por el arquitecto Ferdinand Dutert (1845-1906) y el ingeniero estructural Victor Contamin (1840-1893); y la *Torre Eiffel*, construida por el ingeniero francés Alexandre Gustave Eiffel (1832-1923). Eiffel pretendía con su torre, construir un símbolo en pleno centro de la capital francesa, de la Revolución Industrial[27]. Esa idea de modernidad y superación tecnológica, estaba claramente basada en la visibilidad del material y de la estructura de la construcción, evitando en todo momento cualquier amago de ocultación de su naturaleza industrial. Sin duda consiguió su propósito, pronto los entusiastas de la nueva estética, homenajearon el monumento, incluso desde el mundo de las vanguardias artísticas.

[27] El sitio web de la Torre Eiffel contiene información sobre multitud de aspectos distintos de este monumento. Para comprender la importancia que tenía la Torre Eiffel para los parisinos a comienzos del siglo XX, se puede visitar el sitio web www.toureiffel.paris

Quizás el más destacado sea Robert Delaunay (nacido en 1885 en París; fallecido en 1941 en Montpellier, Francia). Delaunay soñaba con derribar fronteras y transformar Europa en una comunidad global; la *Torre Eiffel*, en su condición de torre de radio, encarnaba las comunicaciones internacionales. Pintó la torre por primera vez en 1909; después, volvería a convertirla en tema central de su pintura, en más de treinta ocasiones a lo largo de su carrera artística.

En sus primeras representaciones de la *Torre Eiffel*, Delaunay partiendo del estilo cubista, utiliza una paleta muy reducida de colores, así como formas geométricas sencillas. Poco a poco sus cuadros van incorporando más color y dinamismo, consiguiendo adelantar presupuestos adoptados por el futurismo italiano. Su representación más dinámica de la *Torre Eiffel con árboles* presagia un cambio en el estilo del artista que será acuñado por Guillaume Apollinaire como orfismo. Con sus postulados, el artista muestra el emblema de París, desde distintos puntos de vista, captando y sintetizando diversas impresiones a un tiempo. Resulta significativo que este cuadro se llevara a cabo mientras el autor se encontraba lejos de París, trabajando de memoria (ver https://www.guggenheim-bilbao.eus/guia-educadores/torre-eiffel/).

La obra *Torre Eiffel con árboles* marca el comienzo de la fase que el mismo Delaunay califica como “destructiva”: la forma sólida de sus obras anteriores se vuelve fragmentaria y comienza a desintegrarse. Delaunay escogió un tema que le permitía dar rienda suelta a su predilección por la sensación de amplios espacios, atmósfera y luz, al tiempo que evocaba un símbolo de modernidad y progreso. Los logros de Delaunay en materia de estilo son representativos de un nuevo siglo, y de su giro hacia la urbanización (Enrique, Valdearcos., 2007).

Estos ejemplos son una clara muestra de las amplias posibilidades de los materiales aplicados en las líneas de la arquitectura e ingeniería. Con la arquitectura moderna europea de principios del siglo XX y destacando las figuras de arquitectos como el suizo Charles-ÉdouardJeanneret-Gris conocido como Le Corbusier (1887-1965), el fundador alemán de la escuela de la Bauhaus, Walter Adolph Georg Gropius (1883-1969), o uno de los directores de la misma, Ludwig Mies van der Rohe (1886-1969); fomentó el acercamiento entre los procesos industrializados en conjunto con las creaciones artísticas. Fue en 1919 cuando Walter Gropius fundó la Bauhaus en Werimar, Alemania, y que más tarde se trasladaría a Dessau y Berlín, por lo que tuvo

varias fases en su desarrollo hasta su disolución en 1933. Pero para el entendimiento de la Bauhaus, hay que remontarse al movimiento maquinista y a la fe que se tenía en la tecnología como fuente de progreso y riqueza. Todo ello ponía en entredicho, lo artesanal, y la producción en serie, por lo que provocó conflictos entre ambas formas de trabajo dado que se corría el riesgo de generar una deconstrucción de las técnicas tradicionales.

La Bauhaus en su comienzos pretendía destruir el dogma que separaba las "artes mayores" y las "artes menores", colocando en un mismo nivel al artesano y el artista, aunando todas las artes para trabajar cooperativamente por medio de la funcionalidad de las formas creadas y del empleo de las nuevas tecnologías industriales. Con la Segunda Guerra Mundial y el cierre de la Bauhaus en Berlín en 1933 por la presión Nazi, muchos de sus miembros se trasladaron a los Estados Unidos donde por medio de László Moholy-Nagy (1895-1946), se fundó una continuación de la misma en Chicago conocida como la Nueva Bauhaus (*New Bauhaus*) la cual jugó un papel determinante en el desarrollo y difusión del diseño moderno gracias a la experimentación con diferentes materiales (plásticos, madera o metal), técnicas (fotografía, pintura, arquitectura, moda, etc.) y formas. A nivel arquitectónico la idea de la funcionalidad en los edificios se refleja por medio de los rascacielos con fachadas repletas de vidrio y sustentada mediante estructuras de acero y hormigón, como puede ser el Edificio *Seagram,* 1957, en Nueva York, obra de Ludwig Mies van der Rohe, que marca las bases del movimiento moderno y el estilo internacional. Actualmente, la arquitectura y el diseño, dispone de una gran cantidad de materiales y diseños con los que es posible generar nuevas formas. Dentro de ese contexto, podríamos aludir a *Ball- Nogues Studio* (Los Ángeles, California), estudio de diseño y arquitectura formado por Benjamin Ball y Gaston Nogues, los cuales generan espacios para la experimentación física y deleite de los sentidos, partiendo precisamente de construcciones imposibles (Carlos Cook, s.f.). Pero esas formas imposibles años atrás, son ahora una realidad, consecuencia precisamente del estudio de los materiales ligados a la idea de construcción. Si sumamos la innovación, la interacción entre disciplinas, y las nuevas tendencias, encontraremos las formas de trabajo que garantizan construcciones más funcionales, eficientes y sostenibles. Todos estos factores, sin duda serán los retos del futuro, y determinará tanto el aspecto de los edificios como su vida útil.

2.1.2 Picto-escultura

Hablaremos del concepto de picto-escultura ya que lo llevamos abordando durante toda nuestra investigación. Para ello nos remontaremos al muralismo mexicano de la década de los 50´s y 60´s destacando la figura de artistas como Diego Rivera, José Clemente Orozco y David Alfaro Siqueiros. Particularmente nos centraremos en Siqueiros dado que desarrolla el concepto de la "picto-escultura" por medio de murales a gran escala, tanto en exteriores como interiores, y en los que con frecuencia recurrió a la tridimensionalidad del entorno pictórico.

David Alfaro Siqueiros nació en la ciudad de Camargo, Chihuahua, el 29 de diciembre de 1896. En su adolescencia, a sus 15 años parte a la Ciudad de México para estudiar en la Escuela Nacional Preparatoria. Inmediatamente combinó estos estudios con los de pintura en la Academia de San Carlos, y fue ahí donde se inclinó por la protesta política, participando huelgas estudiantiles que proponían cambios en el sistema de enseñanza y la destitución del director de dicha escuela. A los 18 años, Siqueiros, con un grupo de estudiantes de la Escuela de Bellas Artes, se unió al Ejército Constitucionalista de Venustiano Carranza para luchar contra el usurpador Victoriano Huerta. En 1919 viajó a Europa, en donde quedó fascinado por los estilos pictóricos como el cubismo, y fue ahí donde conoció a su compatriota Diego Rivera. Juntos viajaron a Italia para estudiar el muralismo Renacentista. Fue en 1921, durante una estancia en Barcelona, donde publicó sus renovadoras ideas artísticas para la revista *Vida Americana*, reivindicando para el arte una nueva espiritualidad. En 1922 regresa a México y pinta su primer mural en la Escuela Nacional Preparatoria, tiempo en el que José Vasconcelos desde la Secretaría de Educación Pública apoyó a los muralistas con el fin de exaltar los valores nacionalistas ganados por la Revolución.

Siqueiros contribuyó en las batallas de la Guerra Civil Española al lado de los republicanos, donde fue considerado como "El Coronelazo" por su aguerrida entrega en los combates. Tras su regreso a México en 1939, trabajó en el mural *Retrato de México* en el Sindicato Mexicano de Electricistas. También destacan sus famosos murales del Palacio de Bellas Artes, *La nueva democracia* y *Cuauhtémoc redivivo*, realizados entre 1944 y 1949. Entre 1952 y 1956 llevó a cabo los murales de la Ciudad Universitaria, UNAM: *El pueblo a la Universidad*, *La Universidad al pueblo*, *Las fechas de la historia de México* y *Nuevo emblema universitario*. Su último mural en vida fue

La marcha de la humanidad ubicado en el Polyforum Siqueiros inaugurado el 15 de diciembre de 1971. (Fundación UNAM, 2015).

Muralismo picto-escultórico en México durante las décadas 50´s y 60´s

Los pintores que se dedicaron al desarrollo de murales exteriores en la Ciudad Universitaria, ampliaron temáticas con un alto compromiso político y social, al mismo tiempo que con sus prácticas también estaban anticipando con resoluciones técnicas novedosas para la pintura artística en el exterior de los edificios.

La tendencia de Siqueiros, aun empleando una figuración simple y la policromía, era la de incluir grandes relieves en combinación con mosaicos, a lo que el artista denominó como "esculto-pinturas". Para ello incluía bandas metálicas inoxidables, provocando una delimitación de los trazos. También destacaba en sus murales una cobertura policromada en la que descansaban grandes mosaicos cerámicos, destacando la curvatura acompañada de las bandas o láminas de metal inoxidable coloreadas mediante electrólisis. Sus composiciones eran activas, es decir, jugaba con la asimetría y consideraba la geometría de los muros para crear ilusiones ópticas, suprimiendo el principio básico del empleo de superficies lisas e inertes de los muros.[28]

La Marcha de la Humanidad en la Tierra y hacia el Cosmos

Ubicado en Insurgentes, la avenida más importante de la Ciudad de México, este mural es una metáfora del deseo y la lucha de hombres y mujeres por una sociedad mejor. El mural ocupa 8.000 metros cuadrados del edificio octogonal. El Polyforum en su plano arquitectónico incluye un sistema de piso giratorio para facilitar la contemplación de la obra. Siqueiros dividió el interior en cuatro zonas: *La Marcha de la Humanidad hacia la Revolución Democrática Burguesa*; *La Marcha de la Humanidad hacia la Revolución del Futuro; Paz, Cultura y Armonía; y Ciencia y Tecnología*.[29]

[28] Véase el artículo: "Un problema técnico sin precedente en la historia de arte: El muralismo figurativo y realista en el exterior"

[29] Véase: http://cdmxtravel.com/es/lugares/la-marcha-de-la-humanidad-en-la-tierra-y-hacia-el-cosmos-de-david-a-siqueiros.html

Figura 32. David Siqueiros, *La Marcha de la Humanidad en la tierra y el cosmos, 1939,* piroxilina cemento y celotex, superficie pintada del suelo al techo, 2,400m2
Fuente: CDMX Ciudad de México

La Marcha de la Humanidad en la Tierra y hacia el Cosmos es un mural el cual cubre el "Foro Universal" del Poliyforum Cultural Siqueiros. El mural en su completa magnitud, es el más grande pintado en la historia. La planta de la estructura es octogonal en su parte externa y el mural interior cubre todas las caras, excepto el suelo, ya que se usa para espectáculos u otro tipo de eventos.

Siqueiros trabajó con pintura acrílica y aerografía. En esta obra, Siqueiros también incluyó una gran variedad de esculturas laminadas las cuales pinta e incorpora al mural, dando lugar a sus llamadas “esculto-pinturas". Son estas figuras las de mayor importancia y las que más sobresalen en todo el mural, dado que su combinación de colores en conjunto con el volumen creado, juegan con las luces y las sombras para crear un efecto óptico en el espectador. Aprovechando la plataforma giratoria, Siqueiros manifiesta su teoría de la "poli-angularidad", donde los volúmenes cobrar movimiento desde cualquier punto de vista.

Figura 33. David Siqueiros, *La Marcha de la Humanidad en la tierra y el cosmos, 1939,* piroxilina sobre cemento y celotex, superficie pintada desde el suelo al techo, 2,400m2
Fuente: CDMX Ciudad de México

Siqueiros realiza sus figuras con líneas geométricas y muy esquemáticas, contorneándolas con una franja negra de gran grosor, así como en los retratos, que se sirve del trazo sintetizado con colores planos. Es en la bóveda, donde sus figuras parecen ser más simples debido a que en ella no incluye sus esculto-pinturas de figuras humanas.

El mural puede dividirse en siete paneles, cada uno con distintas composiciones y alegorías. En la parte sur, se muestran las multitudes que marchan desde la oscuridad a la luz de la civilización. En el muro norte, una multitud avanza con esperanza hacia un futuro mejor, a pesar de los obstáculos presentes en el camino. En el muro oriente se aprecian las manos de una mujer; y en el lado oeste, las del hombre. En la bóveda, Siqueiros creó tres elementos simbólicos: él águila, una estrella y una nave espacial. Toda esta suma de elementos esconden detrás una temática simbólica entorno a la fuerza conjunta del hombre y de la mujer, que cargados con las armas de la tecnología y la naturaleza, se unen a la búsqueda de la construcción de un mundo mejor.[30]

2.2 INTRODUCCIÓN AL 3D

La impresión en 3D nos ofrece una gran gama de posibilidades para la

[30] Véase: http://mundodelmuseo.com/ficha.php?id=1017

realización de piezas de diferentes materiales. Generalmente, el sistema de ejecución de estas piezas tiene en común el proceso de trabajo que es el de construir las piezas capa por capa. Existen distintos procesos de impresión en 3D, algunos con usos en áreas específicas como la medicina o repostería, y otros que pueden ser de uso cotidiano, realizándolos en casa para piezas de prototipado rápido. Esta tecnología digital abre una nueva puerta de producción de objetos, permitiendo a casi todas las personas la posibilidad de diseñar y fabricar su propia pieza, partiendo de una imagen digital que se concreta posteriormente como un objeto físico.

A continuación, presentaremos un breve recorrido para explicar: ¿qué es la impresión en 3D?; el funcionamiento de las impresoras; los diferentes procesos de impresión en 3D y algunos representantes artísticos del panorama actual. Toda esta información se concluirá con una serie de objetos impresos mediante esta tecnología a fin de llevar a la práctica estos conocimientos, para que a su vez sirvan de retroalimentación entre teoría-práctica.

En la parte práctica, partimos de un modelo digital de un cráneo humano y otras formas abstractas realizadas en el programa de escultura digital *Zbrush.* Luego se realizan diferentes bocetos agregándole deformaciones, irregularidades y texturas para después imprimirlo. Tras obtener la pieza impresa, se somete a un proceso de lijado superficial y un baño con tetrahidrofurano para lograr después distintas posibilidades de acabados. Por último, la parte experimental del trabajo queda recopilada en fichas técnicas que ayudarán a comprender el comportamiento del material de impresión (ácido poliláctico) al ser expuesto frente a reacciones químicas, baños electrolíticos y diferentes tipos de recubrimientos.

2.3 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS MÉTODOS DE IMPRESIÓN EN 3D

2.3.1 Definición de la impresión en 3D

Hoy en día, la mayoría de los métodos de impresión en 3D se originan a partir de un nexo en común: crear un objeto capa a capa partiendo de un modelo digital. La expresión “Impresión 3D” es el término común con el que se le conoce al proceso de manufactura por adición y prototipado rápido. Los dispositivos encargados de la

impresión leen la forma de un modelo digital y comienzan con la impresión siguiendo alguno de los métodos definidos para producir un objeto tridimensional sólido (Warnier, Verbruggen, Ehmann, y Klanten, R., 2014).

A lo largo de los siglos, han existido numerosos procesos de manufactura destacando el método por sustracción o el de moldeo. La sustracción se aplica cuando partimos de un bloque sólido y eliminamos material hasta conseguir la forma deseada (escultura en piedra o madera tradicional), mientras que el moldeo se basa en calentar el material de trabajo y aplicarlo en los moldes (cara positiva y negativa), para que una vez enfriado el material y adquirida la forma deseada, pueda ser retirado. Pero las impresoras 3D, trabajan completamente diferente a estos métodos tradicionales, puesto que sus procesos aditivos parten de la solidificación controlada del material. Este revolucionario sistema se basa en la construcción de elementos trazando capa por capa milimétricamente mediante la adición del material empleado y controlado siempre a través del ordenador.

La constante comparativa respecto al método de escultura tradicional, no hace más que subrayar unos procesos de ejecución totalmente diferentes. La escultura tradicional conlleva una serie de limitaciones como la utilización de materiales de trabajo o herramientas costosas necesitando siempre un sistema de sujeción complejo. Incluso en sistemas de fabricación más modernos, como las máquinas de control numérico computarizado (CNC), que trabajan mediante la idea tradicional de la sustracción, se llegan a perder entre un 60-70% del bloque original, convirtiéndose en viruta o chatarra (3D Printing Industry, 2015). Como respuesta a esto, la impresión en 3D no desperdicia prácticamente nada de material de trabajo, solo utiliza lo estrictamente necesario puesto que su funcionamiento aditivo de capa por capa reduce los fallos, salvo en algunos métodos que necesitan la realización de estructuras de soporte.

Este margen de error tan reducido, corrobora la polivalencia de este funcionamiento puesto que su fabricación por adición solo sigue un patrón en 3D, mientras que, en la sustracción, cualquier error o cambio que se quiera realizar conlleva un nuevo proceso de reestructuración de la pieza para poder continuar con el trabajo. En cualquier caso, no todo tiene por qué entenderse como ventajoso, dado que también podemos decir que se pierde la esencia de la fabricación tradicional basada siempre en la realización del trabajo a mano.

Una de las limitaciones que de momento presenta esta tecnología, es el

material empleado ya que se delimita a la utilización de plásticos y variantes del mismo con los que se realizan piezas de prototipado rápido para luego crearlas mediante otros procesos. Aunque también cabe mencionar que actualmente se están creando impresoras que trabajan con metales como el acero o el titanio, cerámica, cristal o incluso alimentos como el chocolate o ingredientes de comida rápida para elaborar hamburguesas o pizzas. Otra desventaja sería el tiempo de realización en caso de querer desarrollar una producción amplia de piezas a nivel industrial, puesto que el trabajar milímetro a milímetro hace que este proceso sea bastante preciso respecto al modelo 3D del que se parte, pero a su vez lento de elaborar.

Por último, mencionar que poco a poco esta tecnología se ha expandido hasta el punto de que ya no está limitada a la realización de diseños industriales o procesos de fabricación. Ahora también es posible enfocar la nueva tecnología de impresión 3D a la pequeña empresa e incluso particulares.[31]

2.3.2 Funcionamiento de las impresoras

El proceso en el que partimos de una idea hasta el objeto final que crea nuestra impresora 3D es bastante laborioso e intervienen distintos programas que deben trabajar fusionados para que todo salga como esperamos. Existen diferentes tipos de impresoras 3D en las que cada una utiliza una tecnología diferente empleando distintos materiales de diferentes maneras. Es importante destacar que una de las limitaciones de la impresión en 3D es que no hay una única vía de trabajo. Algunas impresoras trabajan con materiales en polvo como metales, cerámica o nylon utilizando una fuente de luz para sintetizar las capas de polvo para que queden unidas. Otras impresoras parten también de la luz por medio de un láser para solidificar las capas, pero esta vez empleando fotopolímeros (resinas). Pero el proceso más conocido es la deposición, en la que un filamento termoplástico es extruido mediante una boquilla que lo funde generando un hilo de material que piramidalmente realiza la pieza (3D Printing Industry, 2015).

Sin embargo, hay que remarcar que en todos los procesos de impresión en 3D hay muchos pasos a realizar previos a la impresión e incluso una vez concluida la

[31] Hoy en día se puede conseguir una impresora 3D por precios inferiores a 1000€, por lo que se abre a un público mucho más amplio (3D Printing Industry, 2015).

pieza, es posible crear diferentes tipos de acabados:

- Toda impresión comienza con un modelo 3D del objeto a crear, revisando que este sea *manifold* o *watertight*[32] (Mongeon, 2015). Cuando hablamos de estos dos conceptos nos referimos a que sean objetos sólidos y no huecos. En muchas ocasiones, una vez creado nuestro objeto en 3D, nos encontramos con ciertos errores o incongruencias que impiden que pueda estar listo para imprimir. Defectos como huecos, vértices que no estén unidos o caras al revés, suelen aparecer cuando realizamos figuras complejas, y esto ocasiona este problema, puesto que las figuras tienen que estar perfectamente ensambladas digitalmente para que la maquina lo detecte como un volumen totalmente sólido y sin ningún tipo de fuga. Esta propiedad de estar sólido es lo que permite a nuestro software el poder seccionar el objeto en capas para que la máquina de impresión en 3D pueda discernir con claridad las partes externas e internas del objeto. En caso de haber un hueco o que no esté todo correctamente ensamblado, hace imposible garantizar un resultado óptimo, puesto que habría irregularidades en el proceso de sección de capas, pudiendo incluso no realizar la figura acabando en un amasijo de plástico extrusionado.
- Una vez tengamos el modelo 3D realizado, lo exportamos generalmente en STL (*Standard Triangle Language*), puesto que es necesario traducir nuestro modelo a un lenguaje que la impresora 3D pueda entender. Luego, nuestro modelo es sometido a un proceso de software llamado *slicing* que separa o secciona el objeto en capas horizontales. A este tipo de archivo rebanado en capas se le conoce como *código g* o *g-code* (Canessa, E., Fonda, C. y Zennaro, M., 2013, p.12). Cada capa de nuestro objeto es convertida en coordenadas en los ejes X, Y, Z para que nuestra impresora pueda formar nuestro objeto capa por capa, derritiendo el material hasta formar un objeto sólido. A lo largo del proceso de extrusión del material, el objeto debe ser sostenido con soportes impresos calculados por el programa de *slicer* para evitar que las partes colgantes de la geometría se desconecten del modelo y caigan o deformen la pieza (Warnier *et al*, 2014).

Respecto a esto último, quisiéramos aclarar aquí que las impresoras no

[32] Hablamos de objetos *manifold* o *watertight* cuando nuestros modelos están completamente bien definidos, cerrados y no presentan caras duplicadas, bordes desnudos o vértices atravesados. Para realizar una impresión de nuestro objeto, debe cumplir estos requisitos.

pueden depositar plástico en el aire. Cuando un objeto tiene partes colgantes (como los brazos de una cruz), requiere que se le construya un soporte para sostener la geometría. Estos soportes pueden construirse de forma manual o bien de forma automática por parte del software. El *slicing*, en esencia acomoda un modelo de manera que sea legible para la máquina. Algunos de los programas más usados para hacer *slicing* son: Slic3r, Skeinforge y CuraEngine.

- Para finalizar, deberemos de pasar toda esta información a la impresora mediante un USB o tarjeta de memoria, para poder comenzar a imprimir y esperar el resultado final. Una vez obtenida la pieza final, y tal y como señalan Canessa, E., Fonda, C. y Zennaro,M. (2013), principalmente se le extraería la plataforma de impresión o "cama"[33] y las estructuras adicionales creadas para la sujeción de la pieza, para que no quede suspendida en el aire. Normalmente, estas partes se realizan con una calidez inferior para que su extracción no se dificulte.

Hay otras cuestiones a tener en cuenta a la hora de imprimir en 3D para alcanzar resultados óptimos, entre ellos: la calibración adecuada de la máquina, la resolución de impresión que le queramos dar, la calidad y composición del filamento o material de trabajo que empleemos o la planitud de la superficie. La resolución de la impresión definirá tanto la precisión del contorno de cada capa como su grosor. Cada proceso de impresión tiene un rango de diferentes resoluciones que analizaremos y estudiaremos en los siguientes apartados.

2.3.3 Antecedentes históricos

Casi todo el mundo piensa que la impresión 3D es una tecnología que ha sido inventada en los últimos años, pero realmente lleva en el mercado casi 30 años. Esto es debido a que en los últimos años su popularidad mediática se ha expandido hasta ser accesible para cualquier consumidor, cosa que, en sus inicios solo a nivel industrial era viable dado su elevado coste.

[33] Se entiende por "cama" las capas previas de material antes de comenzar la ejecución de la pieza final, para que poco a poco se vaya ajustando la máquina.

Las primeras apariciones de esta nueva tecnología de impresión en 3D surgieron a finales de los 80, en la que se les conocía como tecnología de Prototipado Rápido (*Rapid Prototyping* / *RP*). En un principio, esta tecnología fue concebida para la realización de prototipos de bajo coste y de rápida ejecución dentro del desarrollo de productos del sector industrial. La primera solicitud de patentar la tecnología *RP* fue presentada por el Dr.Kodama en Japón, en mayo de 1980, pero debido a que no presentó en la fecha establecida la especificación completa de patentes no le fue posible optar a ella.

En realidad, los orígenes de la impresión en 3D se remontan a 1986, cuando Charles Hull presentó una patente para la tecnología conocida como estereolitografía (*Stereolithography* / *SLA*)[34]. 3D Systems introdujo el primer sistema de *RP* comercial en 1987, el sistema *SLA-1*, que tras numerosos exámenes y pruebas de funcionamiento fue puesto a la venta en 1988. Con toda esta innovación, no es de extrañar que nuevas tecnologías de *RP* se desarrollasen en paralelo logrando los mismos objetivos: el de crear un objeto de la nada. En ese sentido, fue en 1987 cuando Carl Deckard, que trabajaba en la Universidad de Texas, presentó una patente en los EE.UU. de otro sistema de *RP* llamado sintetización por láser selectivo (*Selective Laser Sintering* / *SLS*)[35]. Fue también en 1989 cuando el co-fundador de Stratasys Inc, Scott Crump, presentó la patente para la tecnología conocida como modelado por deposición fundida (*Fused Deposition Modelling / FDM*), tecnología que hasta la actualidad sigue en manos de la misma empresa. No fue hasta el año 1992 cuando Stratasys Inc recibieron la patente (Upputuri, 2014).

Al mismo tiempo que los procesos de impresión en 3D iban evolucionando, en Europa surgieron varios campos de investigación, concretamente en 1989 cuando el alemán Hans Langer fundó EOS Gmbh. Esta empresa se dedicó por completo al desarrollo de máquinas de sinterizado por láser (*Sintering Laser / SL*), siendo una de las empresas de mayor repercusión hoy en día gracias a la calidad del prototipado industrial, y la producción de piezas para las impresoras 3D. Su primera máquina llamada “Stereos” fue comercializada en 1990.

[34] Fue en 1983 cuando Charles Hull creó la máquina de *SLA* y pasó a co-fundar 3D Systems Corporation que es una de las mayores empresas de impresión en 3D en la actualidad (Mongeon, 2015)
[35] Dicha patente fue emitida en 1989 y DTM Inc obtuvo la licencia, que posteriormente fue adquirida por 3D Systems.

En los 90´s

Nuevas tecnologías y procesos de impresión en 3D emergían durante estos años de continuo avance tecnológico, como la Manufactura de Partículas Balísticas (Ballistic Particle Manufacturing / *BPM*) patentada por William Masters; Manufactura de Objetos Laminados (*Laminated Object Manufacturing / LOM*) patentada por Michael Feygin; Curado en Tierra Sólida (*Solid Ground Curing / SGC*) patentada por Itzchak Pomerantz o la Impresión Tridimensional (*Three Dimensional Printing / 3DP*) originalmente patentada por Emanuel Sachs (3D Printing Industry, 2015).

Durante este inicio de los 90, se produjo una desmesurada evolución de nuevos sistemas de impresión y corporaciones dentro del campo del sistema *RP* que competían entre sí, en el que cada uno utilizaba una tecnología concreta y todos estaban destinados para un uso industrial. Pero en la actualidad, solo tres empresas de las iniciales continúan en el mercado: 3D Systems, EOS y Stratasys.

A lo largo de los 90 e inicios del 2000, se produjeron una serie de avances e investigaciones, puesto que lo que se había visto hasta ahora se centraba en el prototipado rápido, es decir, en la creación de un boceto de trabajo en 3D para luego llevarlo a cabo con otros medios más contundentes. Por esta razón, se iniciaron nuevas investigaciones para que el resultado final de esta tecnología tuviese nuevas posibilidades y acabados como moldes, fundición, y manufactura rápida[36]. Pero esta pretensión inicial no duró mucho, puesto que los resultados obtenidos no encontraron los niveles de calidad y acabado alcanzados con el método tradicional. Por lo que estos sistemas se fueron perdiendo poco a poco, y se continuó utilizando aisladamente el sistema inicial de prototipado rápido. Aunque la gran mayoría de estas tecnologías y compañías emergieron en Occidente, nuevas empresas comenzaron a surgir en Oriente, pero éstas solo satisficieron las necesidades a nivel local por lo que les fue imposible expandirse globalmente (Upputuri, 2014).

Muchas empresas continuaron apareciendo durante este tiempo, pero todas sirvieron únicamente para aparecer en la larga lista de empresas occidentales que trabajan a nivel global. Por otro lado, la terminología de estos procesos de impresión también evolucionó debido a la amplitud de nuevas aplicaciones de fabricación y aceptando un término común para todos los procesos, que fue el de Manufactura por

[36] Moldes Rápidos o Fabricación Rápida (Rapid Tooling / RT), Fundición Rápida (Rapid Casting / RC) y Manufactura Rápida (Rapid Manufacturing / RM).

Adición (*Additive Manufacturing* / *AM*).

Año 2000

Durante esta década, surgió una división marcada por dos áreas que en la actualidad continúan claramente definidas. Por un lado, nos encontrábamos con impresoras 3D excesivamente caras enfocadas a la elaboración de piezas complejas y de gran valor. Estas tecnologías continúan hoy en día evolucionando y creciendo, pero con resultados enfocados al sector aeroespacial, automovilístico, la medicina o la alta joyería. Estos procesos tan costosos suelen trabajar a puertas cerradas o bajo acuerdos de confidencialidad para evitar su divulgación.

Por otro lado, estaban las impresoras de bajo coste centradas en el concepto de modelaje 3D. Estas impresoras mantuvieron su interés por mejorar el concepto y la creación de prototipos funcionales enfocados para la obtención de sistemas fáciles de utilizar y económicos, específicamente destinados para oficinas y particulares. Sin embargo, estos sistemas estaban aún muy orientados para un uso a nivel industrial por lo que no fueron muy accesibles para los consumidores.

En 2007, 3D Systems lanzó la primera impresora por debajo de los 10.000 dólares, pero debido a su todavía elevado coste, al sistema que llevaba y a otras cuestiones de marketing, nunca se convirtió en un éxito. Más tarde, Desktop Factory anunciaba el lanzamiento de una maquina por un valor inferior a 5000 dólares.[37]

Sin embargo, en 2007 fue un periodo determinante en el sistema de impresión en 3D puesto que un movimiento estaba tomando forma desde 2004 conocido como *RepRap* (*Replication Rapid Prototypers*), en el que el Dr. Adrian Bowyer lo concibió como un proyecto de código abierto cuya meta era la de crear una máquina que se pudiera replicar a sí misma, y en los años siguientes se concluyó gracias a un exhaustivo trabajo junto a su equipo, destacando a Vik Olivier y Rhys Jones, que desarrollaron el concepto de prototipos de trabajo de una impresora 3D mediante el proceso de deposición. Fue a raíz de ahí, cuando las impresoras 3D comenzaron a alcanzar más popularidad (Upputuri, 2014).

En enero de 2009 fue cuando se puso en venta al público la primera máquina de impresión 3D basada en el concepto RepRap, con el nombre de BfB RapMan 3D.

[37] Este hecho fue comentado y analizado por muchos, puesto que el principal problema siempre estaba vinculado al elevado coste, y con esta reducción, supondría un mercado mucho más amplio. Pero esta propuesta se desvaneció al quebrar Desktop Factory en el periodo previo a la producción. Ésta compañía fue adquirida por 3D Systems en 2008.

En abril de mismo año, Bree Pettis, Zac Smith y Adam Mayer crearon Makerbot Industries; una empresa productora de impresoras 3D cuya meta era la de proveer un kit basado en los diseños RepRap, pero que fueran más sencillos de ensamblar. La diferencia entre ambas era la siguiente: RepRap requería que el usuario ensamblara la máquina pieza por pieza, mientras que MakerBot ofrecía un paquete con todos los instrumentos calibrados y listos para su uso. El primer proyecto de MakerBot se llamó Cupcake, el cual tomaba horas para ensamblarse y requería de habilidades avanzadas para hacerlo funcionar (Dougherty, 2013).

A partir de entonces, comenzaron a aparecer en el mercado nuevas impresoras 3D, pero con la limitación de un único punto de venta. Aun siendo RepRap un movimiento de código abierto, es un hecho que supuso una fuente de inspiración dando lugar a la aparición de nuevas impresoras 3D en el mercado, generando a su vez más competencia. El uso del código abierto, también facilitó esta tarea de generar más demanda comercial, sobre todo para la venta particular, puesto que su filosofía era la de imprimir la mayor parte de sus propios componentes.

Ya en 2012 hubo muchos cambios, entre ellos MakerBot comenzó a trabajar en una impresora que se vendiera completamente ensamblada. Fue en este año, cuando el modelado por deposición fundida (*Fused Deposition Modelling* / FDM) se convirtió en el proceso de entrada más popular entre las impresoras 3D que hasta en la actualidad continúa siéndolo. Paralelo a este proceso, surgieron en el mercado varias competencias y alternativas de trabajo como el B9Creator, utilizando la tecnología del Procesamiento Digital de Luz (*Digital Light Processing* / DLP), llegada en junio y seguida de la Form 1, que utilizaba la estereolitografía *(Stereolithography/* SLA*)* y se dio en diciembre. Las dos máquinas comenzaron a moverse gracias a Kickstarter, una página web que financia proyectos en la que ambas tuvieron un gran éxito.

Como respuesta a este boom en el mercado de consumo durante el 2012 y gracias a estos avances tecnológicos, varios medios de comunicación recopilaron esta información para expandirla a todo el público en general. Gracias a esto, su publicidad se extendió de una forma vertiginosa hasta el punto que en 2013 continuó creciendo y consolidándose significativamente. Uno de los movimientos más destacados de este año fue la adquisición de Makerbot, por Stratasys (Upputuri, 2014).

Casi 2 décadas después de uso industrial, sus resultados son plenamente visibles en diversas áreas, tales como: la medicina, para crear partes sustitutas del cuerpo humano como huesos y prótesis; juguetes y figuras adaptadas al gusto de cada persona; carcasas (cases) para teléfono móvil personalizadas; armas, vestimenta e incluso comida. Estas son sólo algunas de las muchas áreas exploradas por la impresión 3D en la actualidad.

Se puede decir que hoy en día, la impresión en 3D todavía es un universo por explorar, un avance tecnológico que abarca muchos campos de estudio y que poco a poco se hace un hueco en muchos ámbitos. No se puede negar que esta tecnología está causando un notorio avance en la fabricación del sector industrial, esperando que adquiera otro nuevo potencial a medida que se garantice un proceso de realización final de piezas más rápido y menos costoso.

2.3.4 Usos y aplicaciones

Los orígenes de la impresión en 3D con el prototipado rápido, fue pensado con el fin de acelerar las primeras fases del desarrollo de productos a nivel industrial de una forma óptima. Hoy en día, los prototipos siguen siendo el recurso más empleado en este sistema de trabajo. Pero el desarrollo y las mejoras de este proceso, y la gran versatilidad de las máquinas de impresión en 3D, se expanden hasta tal punto que encontramos utilidades en una gran infinidad de campos. No solo a nivel artístico como es nuestro caso, sino que las podemos observar en la realización de piezas de utilería, joyería, juguetería, etc.

No obstante, también encontramos aplicación para la impresión en 3D en otros campos como la repostería donde se emplean materiales perecederos, sirviéndose de componentes alimenticios para la creación de nuevos materiales de impresión. Por otra parte, la constante evolución de materiales y aplicaciones de estas máquinas alcanza límites que hasta hace poco eran impensables. Así, en la medicina han comenzado a utilizarse para la realización de prótesis, implantes o reconstrucciones personalizadas. A continuación, haremos una breve descripción de las aplicaciones de la impresión en 3D mencionadas.

2.3.4.1 Prototipado Rápido (Rapid Prototyping / RP)

Cuando se habla de prototipado rápido, abarca todos los campos que hemos ido mencionado, puesto que la idea principal de este concepto de trabajo era el bajo coste y la rápida elaboración dentro del desarrollo de piezas. Pero enfocándolo en los consumidores, la impresión en 3D genera debates en cuanto a su funcionalidad o viabilidad para el empleo diario. Uno de los motivos principales es el elevado coste de las máquinas de impresión, que, aunque no son tan caras como en sus inicios, que estaban al alcance de muy pocos, siguen teniendo precios elevados en cuanto al uso que actualmente se le está dando en este campo.

No obstante, empresas destacadas en impresoras en 3D como Makerbot o 3D Systems, están intentando que el proceso de impresión sea lo más cómodo posible habilitando software o contenido digital de fácil uso como complementos auxiliares. Con esto se pretende fomentar su uso diario en el que podemos establecer, tal y como nos indica 3D Printing Industry (2015), tres formas o vías de impresión en función del nivel de conocimientos del usuario:

- Diseño + impresión: si tenemos nociones de diseño en 3D y contamos con una impresora 3D.
- Elegir el diseño + impresión: si no sabemos utilizar programas de diseño, existen páginas web en las que podrás encontrar modelos ya realizados (esas páginas las analizaremos más adelante), y contamos con una impresora 3D.
- Elegir diseño + elegir impresión: en caso de no tener impresora 3D ni manejar programas de modelado, existen empresas que se dedican a la realización de prototipos y de diseños, o puedes llevar un diseño predeterminado y ellos lo realizan.

Los materiales que más se suelen utilizar por su bajo coste y versatilidad es el plástico, encontrando resultados como utensilios de cocina, juguetes, accesorios para la casa, elementos decorativos, carcasas de móvil, etc.

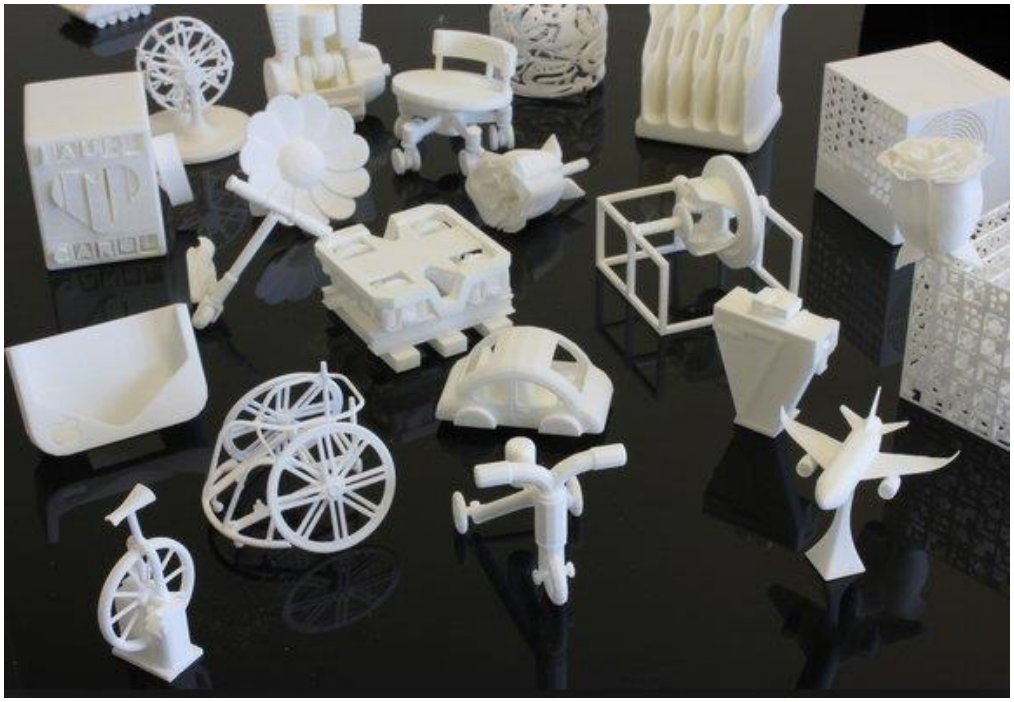


Figura 34. Prototipos rápidos de productos impresos en 3D
Fuente: Inovando.biz

No obstante, la diversidad de funciones derivadas de cada uno de los sectores mencionados, obliga a realizar piezas de recambio con una gran variedad de materiales rígidos, flexibles o transparentes, que parten en principio de la misma composición que las piezas originales.

2.3.4.2 Escaneado en 3D

Una herramienta que se suele asociar a la impresión 3D es el escáner 3D ya que gracias a él podemos digitalizar rápidamente cualquier forma para luego modelarla a nuestro antojo o imprimirla en cualquier sistema de los que ya hemos hablado.

La aparición del escáner 3D dentro del arte y sobretodo de la restauración de piezas volumétricas ha sido de vital importancia para la conservación del patrimonio. Un claro ejemplo de ello, fue en el proceso de restauración de la *Madonna di Pietranico*, una pieza de terracota que debido a un terremoto ocasionado en 2009 en el Museo Nazionale d'Abruzzo, tuvo que ser reconstruida pieza a pieza recurriendo a

las nuevas tecnologías.

Figura 35. Imágenes digitales de la Madonna in Trono di Pietranico, S. XVII, partiendo del escaneado en 3D.
Fuente: Lucia Albace *et al.* (2012)

El escáner 3D fue una gran solución a la hora de rediseñar la pieza, puesto que al escanear todos los fragmentos de la misma pudieron disponer de ellos en formato digital, gracias al cual le permite unir las piezas sin estropearlas y poder estudiar la composición de la misma hasta llegar a una hipotética conclusión en cuanto a cómo quedarían las piezas reales ensambladas. Este avance en la restauración mediante el escáner 3D también sirvió para la realización de una estructura de soporte mediante impresión en 3D, y para la realización de un estudio digital de la policromía original de la figura para que sirva de base para la pigmentación de las nuevas partes a tratar (Lucia Albace *et al*., 2012).

Actualmente el escáner 3D también se está empleando en otros sectores como ocurría con la impresión en 3D, como es el caso del sector aeronáutico, que se beneficia para la realización de estudios de los daños ocasionados por el granizo o la comprobación de los objetos de las líneas de producción requiriendo una gran cantidad de puntos de medición. Otro sector a destacar sería el de la medicina gracias al cual se sirven de esta tecnología para la creación de aparatos ortopédicos adecuados a cada persona como sucede en la ortopedia de remodelado craneal; como también para la realización de zapatos hechos a medida realizando una réplica de la forma del pie.

Finalmente, el campo de la docencia también adquiere una notoria importancia a medida que estas nuevas tecnologías van siendo cada vez más accesibles, pero sobre todo a los jóvenes del mañana. El escáner 3D tiene múltiples aplicaciones para la docencia, y otras áreas como la ciencia e ingeniería, o en la arqueología enfocada a la conservación y restauración del patrimonio cultural y su reproducción y análisis virtual.

Figura 36 Proceso de escaneado 3D con HandySCAN 3D portable scanner y su análisis virtual con VXinspect software
Fuente: Creaform3d, 2015

Este ejemplo muestra claramente el proceso de escaneado e inspección de una pieza realizada mediante fundición también con nuevas tecnologías para el sector aeroespacial. Si observamos la pieza sólida, se le han adherido una serie de puntos u objetivos de posicionamiento que nos recuerda al sistema tradicional de los procesos sustractivos de la escultura, sobre todo al mímesis de las mismas mediante puntómetro o máquina de sacar puntos. Este proceso ya empleado en el siglo XVIII, es la base de este nuevo sistema de mímesis moderno mediante escáner 3D ya que, tras la fijación de una serie de puntos en distintas coordenadas en el objeto a copiar, nos basta para facilitarnos donde se encuentran en el espacio, ya sea virtual o físico, pudiendo de esta forma reproducir con exactitud la pieza que estemos trabajando.

Figura 37. Sistema de puntos o puntómetro en la obra escultórica de Antonio Cánova, quien mejoró la técnica
Fuente: Jaime, Pérez Marín, 2014

Pero fue entrado en el siglo XIX, gracias al francés Nicolas-Marie Gatteaux, cuando tuvo su mayor apogeo y se comenzó a utilizar el puntómetro, superando al resto de sistemas de traslado de puntos como la plomada o los tres compases. Este método generalmente consistía en el montaje de un bastidor o cruceta sobre la figura con tres puntos de apoyo fijos, que a su vez se colocan también en la materia prima a trabajar, ya sea piedra o madera (tradicionalmente). Luego, sobre ese bastidor se articula un brazo que permite trasladar cualquier punto de la figura y fijarlo para ser transportado facilitando su posterior reproducción. Cuanto mayor sea el número de puntos trasladados al bloque, mayor precisión se consigue en la copia (Alegre Carvajal, E., Perla de las Parras, A. y López Díaz, J. 2016, p. 267). Con este método, una figura puede ser repetida cuantas veces se quiera, cosa que el humano siempre ha buscado en cuanto a comodidad se refiere, evolucionando hasta la actualidad con el empleo de nuevos y novedosos métodos de reproductividad como el ejemplo que estamos analizando y comparando, el escaneado en 3D.

2.3.4.3 Repostería

La evolución de la impresión en 3D también se ha unido al ámbito alimenticio, tanto a nivel de material de reciclado como a la impresión de diversos alimentos, destacando el área de la confitería, especialmente en el chocolate. Este método innovador está surgiendo como una nueva forma tanto de elaboración como de preparación de los alimentos.

La empresa 3D Systems, actualmente ha lanzado al mercado ChefJet 3D,

especialmente diseñada para la repostería con la opción de imprimir alimentos. En sus inicios partían de azúcar o chocolate como base, pero se ha ido dando pie a otros alimentos como la manzana ácida, la menta, la cereza, la vainilla o la levadura. Dichos alimentos pueden imprimirse individual o en conjunto, dependiendo del tipo de máquina (Impresoras 3D, 2014).

Figura 38. Variedad de confitería impresas en 3D por la empresa 3D Systems
Fuente: Ela é tech!, 2014

También en la actualidad se está trabajando con otros alimentos como la carne, la pasta o el pan gracias a la maquina Foodini, creada por Natural Machines. A diferencia de las otras impresoras de alimentos en 3D, esta es la primera que puede imprimir gran variedad de alimentos tanto salados como dulces. Otra de sus principales particularidades es que utiliza alimentos frescos ya encapsulados y nos da la opción de fabricar nosotros mismos alimentos impresos. De este modo, al trabajar con cinco cápsulas de acero inoxidable simultáneamente, se hace más cómoda la elaboración de platos que contengan más de un alimento (Natural Machine, 2015).

Figura 39. Impresión de hamburguesas de carne mediante Foodini
Fuente: Natural Machines

2.3.4.4 Juguetería

Puesto que las impresoras 3D han conseguido que todos podamos imprimir nuestras creaciones, muchas empresas dedicadas al sector de la juguetería se han sentido atraídas por este proceso y han dado la posibilidad de poder diseñar y crear tus propios juguetes ya sea por encargo o incluso actualmente están creando impresoras específicas para niños, siendo ellos los verdaderos protagonistas de sus creaciones.

Este cambio de tendencia encuentra ejemplos concretos en compañías como MakieLab, fundada por Alice Taylor, la cual ofrece la opción de personalizar virtualmente tu propia figura llegando hasta el punto de poder seleccionar patrones como el tono de piel, el tipo de cabello, el estilo y la vestimenta, entre otros. Una de las ideas principales de este estudio, es la conexión entre un sistema virtual y los productos físicos resultantes de impresión 3D (Warnier et al, 2014).

Figura 40. Juguete impreso en 3D personalizado por el cliente
Fuente: My Makie

Otra empresa que se dedica a la fabricación de juguetes personalizados sería Aminimal, con su distinguida línea de figuras llamadas *Inkimals*, fundada por John Briscella. En esta ocasión, partimos de figuras antropomórficas previamente diseñadas en las que el usuario le da la apariencia deseada coloreándolo bidimensionalmente para luego mapear dicho boceto en el modelo 3D y ser impreso (Warnier *et al*, 2014).

Figura 41. Muñeco impreso en 3D de la serie Inkimals
Fuente: Aminimal Studio

En cuanto a impresoras pensadas para niños, la empresa japonesa Bonsai Lab lanzó en 2015 la BS Toy, una impresora que se dio a conocer en la feria de juguetes *Spielwarenmesse*, en Alemania. A diferencia de las demás impresoras, esta funciona con temperaturas menos elevadas y todas las piezas mecánicas ocultas, con lo que aporta mucha más seguridad para el usuario.

En cuanto al material de extrusión, Bonsai Lab se ha asociado a Polymaker LLC, con la finalidad de crear un filamento que se salga de los estereotipos más usados como el PLA o ABS que necesitan altas de temperaturas de trabajo. Este filamento se conoce como LT80, disponible en varios colores y el cual se funde a 80ºC, bastante menos en comparación con los otros materiales. Su composición también presenta alteraciones, puesto que los materiales además de ser biodegradables están aprobados por la FDA (*Food And Drug Administration*) (Larrondo, 2015).

Figura 42. Máquina de impresión Bs Toy junto a resultados de diferentes materiales
Fuente: Impresora3dprinter.com

2.3.4.5 Educación

Poco a poco, las impresoras 3D se van haciendo hueco en una gran variedad de sectores, llegando al campo de la docencia. Aunque en sus inicios esta tecnología estaba solo al alcance de unos pocos debido a su elevado coste, hoy en día son más accesible, y se han puesto en práctica en el ámbito educativo. Una de las principales virtudes en este sector, es la de poder desarrollar de forma real los conceptos teóricos

vistos en clase. De este modo, arquitectos, ingenieros o diseñadores entre otros, podrán poner a prueba sus bocetos o diseños digitales mediante una impresión en 3D, pudiendo palpar y ver en un espacio real sus creaciones.

A su vez, la incorporación de estas tecnologías en el aula, harán que el alumno se sienta identificado con las herramientas del mañana. Herramientas que encontrarán a lo largo de su carrera profesional y que, gracias a estas innovaciones docentes, ese proceso de adaptación inicial y de toma de contacto será más rápido y sencillo. No solo los estudiantes se beneficiarían de esta tecnología, sino también los propios docentes, investigadores o cualquier persona vinculada al centro educativo.

Gracias a esta nueva tecnología, se podrán mejorar las capacidades cognitivas de los conceptos de volumen y espacio virtual, poniéndolos en práctica tanto a nivel digital, mediante programas de diseño, como físico gracias a las impresoras 3D; estableciendo relaciones entre los mismos y una mejora de nuestro aprendizaje tecnológico mediante nuevos conceptos como el teselado, seccionado o *slicing*, extrusionado, etc. propios de este campo de trabajo.

2.3.4.6 Medicina

En el campo de la medicina se han visto importantes avances gracias a la impresión en 3D. Un ejemplo de este desarrollo se muestra en el Hospital Infantil Nermours Alfred I. duPont, en donde se parte de la idea de economizar tanto el tiempo como recursos, a favor de soluciones genéricas teniendo en cuenta los altos costos de producción de prostéticos de cada paciente. Para esta idea, se basan en el exoesqueleto WREX desarrollado por ellos mismos, el cual está constituido de dos segmentos y cuatro uniones que reducen la fatiga y ayudan a las operaciones motrices del individuo. Puesto que WREX está impreso en ABS, esto mismo facilita que se pueda adaptar a cada paciente brindado una mayor libertad de movimiento a la par que el individuo crece.

Figura 43. Exoesqueleto *WREX* desarrollado por el Hospital Infantil Alfred I. duPont
Fuente: McGahan, D., 2012

Otro aspecto a tratar en este campo sería el caso del artista brasileño Jorge Lopes dos Santos con su trabajo Fetus Project, basado en el uso de una combinación de ultrasonidos, tomografía computarizada, escaneo e imágenes de resonancia magnética. Lopes dos Santos, desarrolló una forma de construir un modelo tridimensional del embrión en desarrollo para luego imprimirlo mediante el prototipado rápido. Este avance se puede usar en lugar de los sonogramas tradicionales para cualquier persona, o como en el caso de una mujer ciega. También puede ayudar para facilitar discusiones con los padres acerca de los bebes con malformaciones y ayudar a los doctores para prepararse con las operaciones. (Warnier et al, 2014, pp. 202-203). Los materiales que se emplean en este campo generalmente son el plástico, el metal o la cerámica.

Figura 44. Modelo en 3D de un embrión desarrollado, por Jorge Lopes Dos Santos, a través de Foetus Project
Fuente: Rose Etherington, 2009

Este método de trabajo también está difundido en el sector dental, donde además de realizar prototipos para el apoyo de nuevos productos, en las empresas médicas y dentales, esta nueva tecnología también se emplea para la realización de patrones dentales para luego realizar fundiciones de metal, para la realización de herramientas de plástico para hacer alineaciones transparentes como Invisalign, para la creación de coronas, puentes, guías quirúrgicas o carillas dentales con aspectos totalmente realistas.

Figura 45. Impresión en 3D de molde dental y ejemplos de coronas
Fuente: TecnoGraphic.

También vemos resultados mediante la realización de estructuras metálicas que se recubren posteriormente con materiales cerámicos. La rápida fabricación de los productos mediante las impresoras 3D, ha hecho que no solo las utilicen laboratorios específicos, sino que también incluso en consultas las podemos ver. Esto es debido a que la principal función de este nuevo sistema de trabajo era la de abaratar costes con resultados excelentes y poder ofrecer este tipo de servicio globalmente.

Por último, mencionar también que se está expandiendo en este campo hasta el punto de realizar implantes de rodilla o cadera, realización de audífonos para las personas con carencias auditivas, plantillas ortopédicas para el calzado o prótesis personalizadas.

2.3.4.7 Aeroespacial

Como hemos visto anteriormente en el campo de la medicina, el sector aeroespacial fue también uno de los primeros en sacar a la luz resultados mediante la tecnología de la impresión en 3D con el desarrollo de nuevos prototipos y productos. Empresas como Stratasys colaboran con instituciones académicas y de investigación, para ver hasta qué límites pueden llegar las impresoras 3D.

Ingenieros aeroespaciales trabajan con la tecnología de FDM para el prototipado, mecanizado y la fabricación de piezas. Como el FDM trabaja con plásticos termofundibles, lo aprovecharon para la fabricación de sujeciones, fijaciones, aparatos de comprobación y piezas finales de aeronaves. Stratasys, también es puntera con el sistema de impresión Polyjet, para un prototipado que requiera una mayor precisión que incluya materiales transparentes, rígidos o similares al caucho, ofreciendo esta otra opción de trabajo (Stratasys, 2015).

Uno de los proyectos más actuales que observamos en este campo es el que se dio en el Salón Internacional de la Aeronáutica y el Espacio celebrado en París en el 2015. En dicho evento, Stratasys mostró los procesos y materiales que le permitieron fabricar más de 1000 piezas impresas en 3D para el avión de pasajeros Airbus A350 XWB. Reduciendo el peso, la cantidad de piezas y la complejidad de las formas. Se trata de un claro ejemplo donde la impresión aditiva está suponiendo un claro avance en la fabricación de componentes para la industria aeroespacial (Stratasys, 2015).

Stratasys explicó que la empresa fabricante de aviones Airbus optó por la impresión en 3D para la fabricación de piezas debido a la metodología de trabajo, puesto que ellos operan con programas que les permiten tener una exactitud del tiempo de ejecución de las piezas. Todas ellas fueron impresas con un material llamado “ULTEM 9085”, un termoplástico ignifugo de alto rendimiento ideado para prototipos rápidos, destacando sobre todo sus componentes por su relación fortaleza y ligereza (se fabrican estructuras internas de las piezas por lo que hacen que el peso sea bastante inferior y a su vez se reduce el consumo de combustible), y sobre todo su FST (fuego, humo y toxicidad), convirtiendo este producto en una excelente opción para la industria del transporte comercial, especialmente el sector aeroespacial, marino y vehículos terrestres. Todo esto, hizo que cumplieran los requisitos establecidos por la empresa aeroespacial Airbus (Producto 3D, 2015).

2.3.4.8 Automoción

Otro de los sectores que también se ha sumado a este boom tecnológico ha sido el del automóvil. Muchas empresas de automoción (sobre todo en fórmula 1 y deportes de motor) han trabajado de forma paralela al sector aeroespacial, puesto que han comenzado a darle utilidad a las impresoras 3D dentro de su campo mediante la realización de prototipos, adaptándolos a sus procesos de fabricación para así incorporar los beneficios y resultados de estos materiales en productos finales de automoción (3D Printing Industry, 2015).

Muchas compañías automotrices están planteando darle un giro a la venta del automóvil que contenga piezas en 3D, como la opción de poder obtener piezas de repuesto bajo demanda, herramientas o volúmenes de piezas finales. En el caso de Stratasys, plantea múltiples salidas de trabajo de sus impresoras en este campo, creando modelos duraderos y resistentes fabricados con termoplásticos mediante FDM. En el caso de necesitar modelos con acabados más suaves y perfeccionados, Stratasys ofrece la tecnología Polyjet.

Algunos de los trabajos más recientes lo encontramos con los ingenieros de Minimizer, los cuales realizan ensayos con guardabarros para camiones impresos en 3D con ULTEM 9085 color negro, un termoplástico de alta resistencia.

Figura 46. Semiguardabarros impreso en 3D en resina ULTEM 9085 por Minimizer
Fuente: Stratasys

Pero las impresoras 3D, no solo se han conformado con la realización de piezas o herramientas para coches, sino que han llegado a construir un coche casi completo, como es el caso de la empresa estadounidense Local Motors, que fabricó el primer coche impreso en 3D en tan solo 44 horas. Este modelo, denominado Strati, demuestra una nueva forma de fabricación en la industria automotriz, levantando una

fuerte expectación, puesto que, a diferencia de los modelos tradicionales, este solo se compone de 55 piezas. Eso sí, los componentes de mecánica como frenos, suspensión, neumáticos o el motor, a excepción del chasis, fueron añadidos posteriormente.

Figura 47. Vehículo impreso en 3D por Local Motors, Strari
Fuente: Localmotors

2.3.4.9 Joyería y moda

Tradicionalmente, la fabricación de cualquier artículo de joyería había requerido de una gran experiencia de trabajo y conocimientos de técnicas como la fundición, el grabado, el pulido, la creación de moldes, etc. Cada una de estas disciplinas ha ido progresando con el paso de los años y para cada una se requieren unos conocimientos de su técnica de trabajo.

Para el sector de la joyería, la impresión y diseño en 3D ha supuesto una competencia bastante desfavorable, puesto que hace que se pierda todo el proceso tradicional de elaboración dando pie al uso de las nuevas tecnologías como es el caso de la empresa byAMT, que se dedica, entre otras cosas, a la fabricación de joyería, enseres domésticos y muebles. En ella, la diseñadora Alissia Melka-Teichroew usa el proceso de *SLS* para la realización de accesorios inspirados en la estructura ósea de la rótula. Anillos, collares y pulseras, son algunos de los complementos que podemos encontrar y personalizar a través de su página web.

Figura 48. Pulsera y collar impreso en 3D, diseñado por Alissia Melka-Teichroew
Fuente: BYAMT

En cuanto a la vestimenta, como los procesos de impresión 3D han ido cada vez empleando gran variedad de materiales y mejorado su resolución, muchos diseñadores hoy en día se apoyan en ellas para la elaboración de zapatos, bolsos o piezas sofisticadas. Con esto se abre un nuevo camino para las impresoras en 3D, rompiendo con el tradicionalismo de la confección manual de prendas, y demostrando una completa transformación en el proceso de la manufactura de ropa personalizada.

Como el caso de uno de los vestidos más recientes de la modelo de Burlesque, Dita Von Teese, creado con nylon mediante SLS. Para el diseño de este vestido, se partió del modelo escaneado de su cuerpo. Finalmente, el vestido muestra las técnicas primarias de la confección de ropa y adopta un lenguaje cercano al diseño de un producto arquitectónico.

Figura 49. Vestido impreso en 3D (2013) para la modelo Dita Von Teese
Fuente: Studio Bitonti

2.3.4.10 Arquitectura

En la arquitectura, tradicionalmente el uso de modelos en 3D ha sido un elemento básico de trabajo, y ahora se le suma la impresión en 3D para la producción de maquetas precisas que muestren la visión del arquitecto. La impresión en 3D ofrece un método rápido y viable para la producción de modelos que garantizan sobre todo una mejor comunicación con el cliente y poder abordar más proyectos, puesto que el método tradicional de elaboración de maquetas, podía alargarse semanas incluso meses, sumándole la capacitación del artesano. Con este nuevo método, cualquier forma por compleja que sea puede ser realizada siempre y cuando se pueda materializar dentro del espacio de impresión de la máquina (David López, 2015).

Existen muchas técnicas de impresión posibles en este campo como modelado por deposición fundida (FDM) o Polyjet, pero la más demandada es la proyección aglutinante (*Direct Shell Production Casting* / DSPC) o 3DP. Este último método de impresión, es ideal para la realización de piezas o estructuras realistas puesto que se

le pueden añadir a la máquina múltiples cabezales que depositan pegamento pigmentado, cada uno de un color diferente, permitiendo acabados realistas y simulando la apariencia visual de otros materiales a todo color.

Esta forma de trabajo se convierte en la idónea para la realización de maquetas, rompiendo con la tradicional visualización de montajes y renders virtuales por medio de un ordenador. La perfección de este sistema llega hasta el punto de realizar piezas muy pequeñas sin perder calidad de resolución y recrear tramas y texturas de materiales de construcción que hacen que esta representación antes de su construcción sea lo más fiel posible.

Un ejemplo de acabado mediante este tipo de impresión seria el tríptico a color del World Trade Center de David Munson, que se encuentra expuesto en el Fire Museum de Nueva York, en la que vemos una representación hiperrealista con todo lujo de detalles de un mismo lugar, pero en tres fases diferentes, concretamente el antes y después de la caída de las Torres Gemelas y su situación actual.

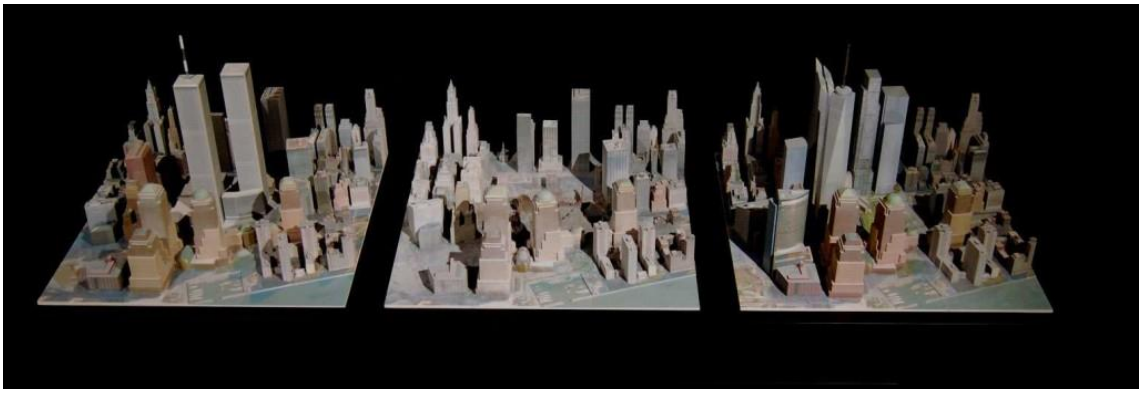


Figura 50. Tríptico del World Trade Center expuesto en el Fire Museum de New York, de David Munson
Fuente: David López, 2015

Otro aspecto a nivel arquitectónico para el que se están empleando estas máquinas es para la impresión de un modelo tridimensional exacto del terreno previo a la construcción, en el que gracias a las impresoras 3D, se reduce el trabajo dado la gran cantidad de detalles que se pueden generar con las mismas y su reproductibilidad.

Incluso estamos llegando al extremo en el que con este sistema vemos como se realizan edificios a gran escala gracias a la compañía china Winsun, la cual ha generado impresoras 3D de dimensiones colosales (6x10x40mts aproximadamente) que te garantizan la realización de una vivienda en menos de 24 horas. El material

empleado es un compuesto de cemento de secado rápido con residuos industriales más un agente endurecedor que hace que cada capa sea los suficientemente sólida para soportar la anterior. Siendo este tipo de estructura impresa más favorable para el medio ambiente y más rentable en su construcción que la tradicional.

Figura 51. Máquina imprimiendo de la compañía Winsun y resultado de una vivienda
Fuente: Winsun, 2015

Por otro lado, este conglomerado de materiales, según la empresa Winsun, es más sólido y resistente que el hormigón de alta calidad o los materiales de construcción común, garantizando que no salen grietas. El sistema empleado es el de capa a capa, trabajando a modo de zig-zag, con un patrón de impresión diagonal reforzado en su interior, dejando espacios de aire a modo de aislante sin ningún tipo de estructura interna. Estas paredes se construyen de forma totalmente digital siendo el margen de error de escasos milímetros y un 50% más ligero que los materiales de construcción usuales (Winsun, 2015).

2.3.4.11 Arte y Diseño

Muchos artistas y escultores están introduciendo la impresión 3D mediante nuevas formas de expresión, ya sea basándose en los cánones clásicos o para indagar con nuevos procedimientos que antes eran impensables. Este sector está en continuo proceso evolutivo y de experimentación, puesto que se ha generado una nueva forma de trabajo para los artistas los cuales están dándose a conocer ya sea modelando, escaneando o imprimiendo en 3D.

Uno de los referentes que se sirve de las impresoras en 3D para la realización de recreaciones de muebles de la compañía Vitra, es el diseñador Kevin Spencer. Este autor ha realizado una serie de sillas en miniatura, algunas modeladas a partir

de las sillas más emblemáticas de la historia del diseño industrial, las cuales destacan por su calidad de detalle y la similitud de las texturas de los materiales y los soportes de sus originales (Warnier *et al*, 2014).

Figura 52. Sillas miniature impresa en 3D por Kevin Spencer
Fuente: Designaholic.mx (2013)

Además de la recreación de objetos industriales, también se pueden encontrar recreaciones de fenómenos naturales, tal y como muestra el trabajo de Fung Knowk Pan, una artista de Singapur que recrea el instante de la salpicadura de un fluido vertido desde un recipiente.

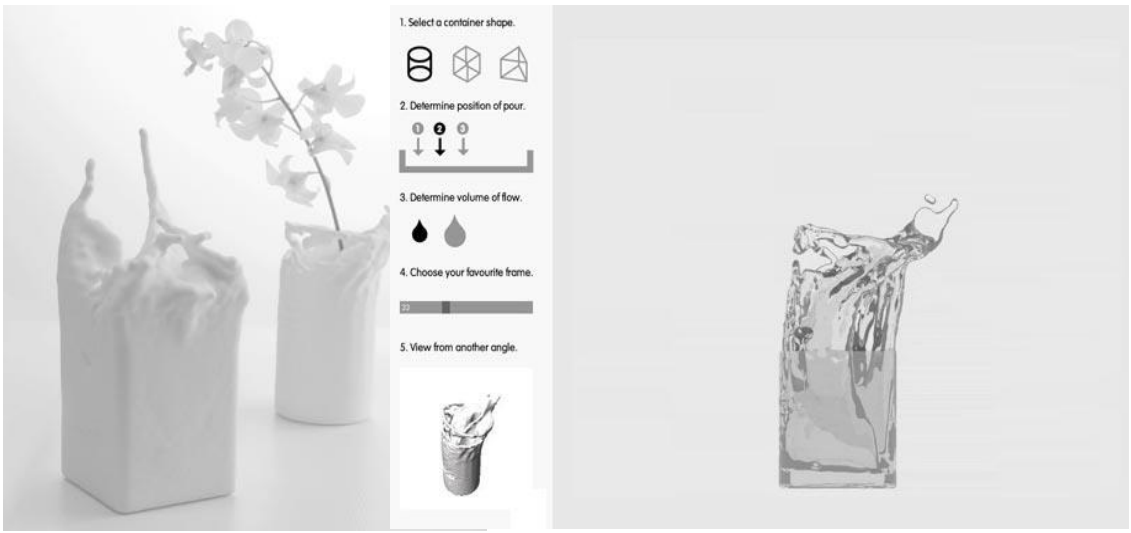


Figura 53. *Fluid Vase*. Pieza decorativa diseñada e impresa por Fung Know Pan
Fuente: Creative Applications Network, 2010

Partiendo de esta idea, juega con el espacio interior del recipiente simulado, extrayendo el contenido del mismo para crear piezas decorativas (Warnier *et al*, 2014).

2.4 PROCESOS PARA LA IMPRESIÓN 3D

2.4.1 Generalidades

Durante los últimos 40 años se han desarrollado máquinas para crear objetos novedosos a partir del principio de adición, con el propósito en común de la realización de prototipos rápidos. Sin embargo, estos procesos de impresión trabajan esencialmente de la misma forma: la construcción de un objeto diseñado previamente en 3D, mediante la superposición de capas empleando diferentes tipos de materiales como plásticos, nylon, arena o azúcar. Las impresoras 3D también ofrecen al usuario, la opción de realizar la pieza por partes para su posterior anclaje, pudiendo optar por la combinación de diferentes materiales, puesto que tienen un sencillo proceso de montaje.

La exploración de materiales y procedimientos de impresión, ha desembocado en nuevas técnicas de manufactura que están en constante desarrollo y evolución. Por eso, la selección que mostramos en el siguiente apartado no es algo universal, puesto que esta nueva tecnología se desarrolla anualmente y está en constante avance tanto de maquinaria, como de materiales y técnicas para la impresión.

En términos generales, podemos encontrar dos técnicas de impresión en 3D: por un lado -mediante adhesión- la cual fusiona el material anteriormente depositado, trazando las secciones del objeto capa a capa a la vez que las une; y, por otro lado -por deposición- en la que se deposita el propio material a modo de trazo solidificando al instante las capas que van formando la totalidad de la pieza.

Actualmente, los procesos de impresión en 3D más comunes son los siguientes: estereolitografía (*Stereolithography* / SLA), sinterizado por láser selectivo (*Selective Laser Sintering* / SLS) y modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modelling / FDM). En la siguiente sección presentamos todos ellos y otros procesos de impresión en 3D.

2.4.2 La pluma como impresión 3D manual

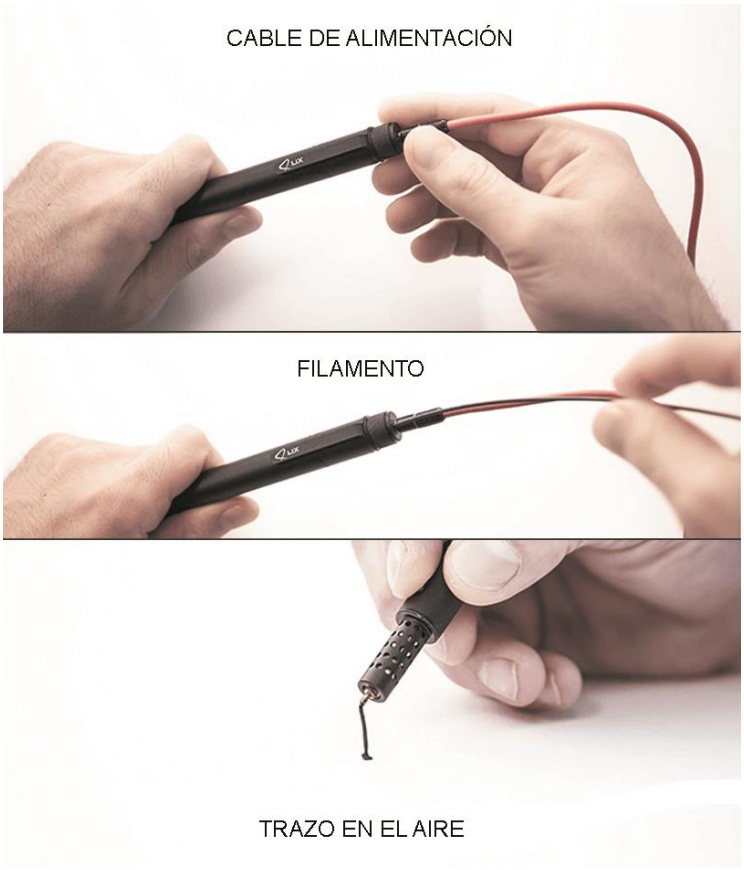


Figura 54. Impresión mediante pluma Lix 3D
Fuente: Esbrillante.mx

Otro complemento a las impresoras 3D lo encontramos con la pluma 3D, con la que podremos crear trazos en el aire termofundiendo el material como sucede en la impresión por FDM. Este método nos remonta a las pistolas de silicona tradicional puesto que termofunden el material en forma de barras sólidas y cilíndricas, solo que la pluma 3D a parte te permite crear formas con el material a la vez que se solidifica y une entre sí. Esta técnica también dispone de una amplia gama de colores sólidos y translúcidos, predominando materiales como el PLA, que es de origen vegetal o el ABS que es un derivado del petróleo. En cuanto al funcionamiento es muy simple ya que puede ser conectada en cualquier puerto USB como toma de energía y posteriormente se introduce el filamento en forma de cable para una vez este a la temperatura, ir derritiéndolo para poder crear líneas en el espacio.

La pluma Lix 3D puede trabajar con dos velocidades, una rápida y otra lenta. Esto determinará la cantidad de flujo del material en función del botón que utilicemos,

ya que si queremos rellenar una superficie amplia, a mayor velocidad de flujo, más cantidad de material expulsará[38].

Como decía Kandinsky (2003) en su libro *Punto y la línea sobre el plano,* haciendo referencia al punto como un ente abstracto y que por medio del movimiento del mismo deja su rastro dando lugar a la línea: *"*La línea geométrica es un ente invisible. Es la traza que deja el punto al moverse y es por lo tanto su producto. Surge del movimiento al destruirse el re-poso total del punto. Hemos dado un salto de lo estático a lo dinámico" (p.49).

Ya a nivel conceptual Kandinsky (2003) hablaba de esta nueva forma de trabajo en la que desplazando un punto -porción de material que tiene un tamaño abstracto y recubre una superficie- y al dejar este un rastro, se nos muestra la línea que surge del movimiento del punto, el cual está en reposo absoluto. Kandinsky decide hablar del movimiento enfocándolo en dos conceptos: por un lado, la *tensión*, siendo esta la fuerza que emana en el interior del elemento, y por otro lado la *dirección*, que a su vez nos determina también el movimiento. Esta dualidad también crea una forma de discernir los dos elementos punto y línea ya que en el punto solo se genera tensión puesto que carece de dirección alguna; y la línea es una combinación de los dos conceptos tensión y dirección.

Centrándonos otra vez en la pluma 3D, observamos como los conceptos de Kandinsky (2003) son un claro ejemplo de este novedoso sistema de trabajo, destacando sobre todo la necesidad de realizar un punto de apoyo inicial con el material para poder comenzar a desplazarlo y generar a su vez una línea en el espacio, siendo este bidimensional o tridimensional.

Complementar la pluma 3D con la impresión 3D es totalmente factible, porque parten del mismo sistema de funcionamiento que es el de termofundir el material, ya sea PLA o ABS, y una vez este se enfríe adopta la forma deseada. Con esto podremos acoplar formas y gestos manuales a nuestras obras impresas en 3D, aportando también la mano del hombre en contraposición con el trabajo mecánico de la impresión, dándole más plasticidad y creatividad al no conformarnos con un resultado directo de la máquina 3D ya que requiere de ciertos tratamientos a posteriori.

Esta herramienta de trabajo muy pronto va a ser un indispensable en nuestra mesa o estudio artístico por su formato similar al de una pluma o bolígrafo, su reducido

[38] Cfr.: https://lixpen.com

tamaño y su fácil manejo y comodidad a la hora de adherir el material. Sin duda facilita al usuario la opción de disponer de una LIX 3D para poder introducirla en varios campos de trabajo, como en la arquitectura, diseño de productos, moda, arte, etc.

En las imágenes que mostramos a continuación, observamos cómo ya se está poniendo en práctica el manejo de la pluma que mediante un poco de práctica podemos encontrar resultados como prototipos decorativos, creación de joyas o incluso injertos en prendas de vestir mezclando diversidad de materiales. La pluralidad de resultados es infinita, solo falta comenzar a experimentar y ver, junto los diferentes materiales de impresión, qué enfoque se le puede ir dando.

Figura 55. Impresión con pluma LIX 3D de objetos decorativos e injertos en vestimenta
Fuente: Lixpen.com

También en el campo docente sería una buena herramienta de trabajo para la realización de maquetas en arquitectura, para comprender mejor la visión del espacio tridimensional partiendo de la línea, en el área musical para la creación de compases más originales y atractivos, o en el campo de la ilustración como complemento a la tradicional tableta gráfica.

2.4.3 Procesos de impresión por adhesión

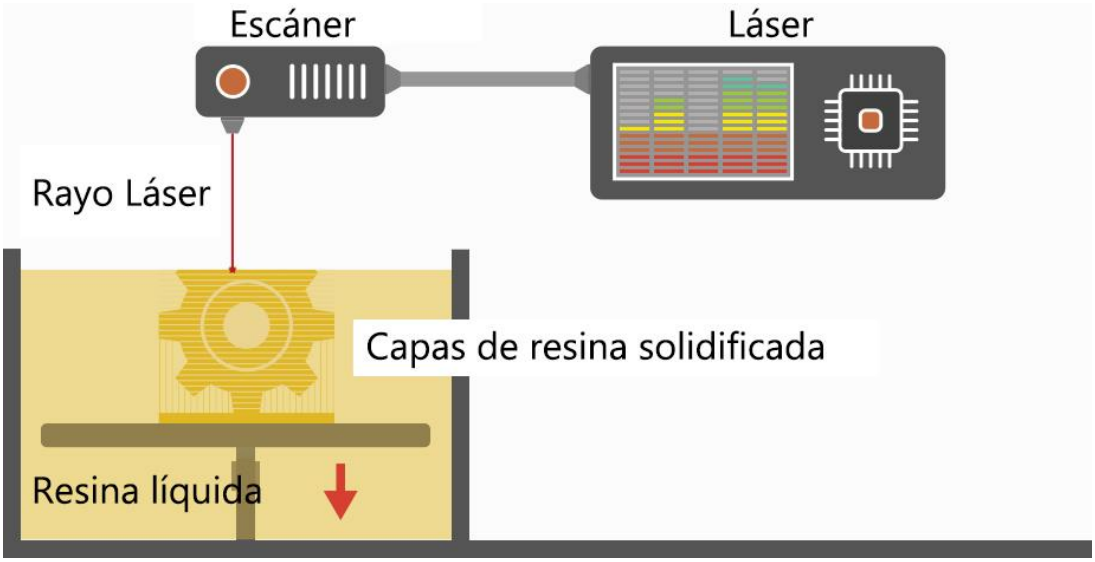


Figura 56. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *SLA*
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

Los procesos de impresión por adhesión funcionan esparciendo una capa de polvo, líquido o material laminado sobre toda una plataforma antes de que el cabezal trace y una el contorno del objeto. Una capa entera de material es depositada en cada nivel, permitiendo al objeto impreso estar suspendido en el material no solidificado; reduciendo el tiempo de trabajo, en algunos casos, al no tener la necesidad de generar estructuras de soporte del objeto a imprimir.

2.4.3.1 Estereolitografía (Stereolithography / SLA)

Esta técnica fue desarrollada por Chuck Hull a mediados de los 80 y comercializada por 3D Systems, compañía que fue fundada por él mismo en 1986. En el 2012 la empresa FormLabs presentó una de las primeras impresoras de escritorio basada en el proceso de estereolitografía: la Form 1. A través de este lanzamiento se ofreció al consumidor una solución ensamblada y lista para imprimir en 3D.

Esta técnica se basa en el fenómeno de la fotopolimerización. Un fotopolímero es una macromolécula líquida -comúnmente conocida como resinas- que se solidifica tras su exposición a la luz UV generada por un láser. Este láser dibuja las secciones del objeto gracias a los datos suministrados a la impresora mediante un archivo en formato STL en la superficie del baño de resina liquida en los ejes X e Y, solidificando

las secciones donde el láser converge con la misma. Cada vez que la máquina completa una capa de la pieza, la superficie donde está depositada la resina desciende -eje Z- para comenzar a trazar la siguiente capa. Este proceso se repite hasta culminar el objeto de impresión.

El principal beneficio de esta tecnología de impresión 3D es el alto nivel de detalle y el buen acabado superficial, obteniendo un resultado con un bajo porcentaje de retoque o pulimentación. Existe una gran variedad de resinas apropiadas para este proceso, pudiendo encontrar diferentes tipos y colores, aunque en su mayoría, se utilizan resinas transparentes o traslúcidas con el motivo de poder ver partes internas de la figura, siendo esto sumamente importante en mecánica de fluidos y diseño mecánico. A diferencia de los demás procesos de impresión 3D por adhesión, esta técnica no emplea un material de soporte propio, por tanto, necesita generar dicho soporte como parte del mismo objeto mediante una estructura fácil de separar (Warnier *et al*, 2014).

Un ejemplo de este sistema de impresión mediante estereolitografía lo encontramos en la impresora 3D FABtotum PRISM- ALPHA concept, una innovación por parte de la startup italiana FABtotum, en la que en esta ocasión vuelven a poner a prueba su innovación pudiendo añadir a la antigua máquina de impresión en la que combinaban impresión 3D mediante *FDM*, fresado, grabado y escáner 3D, nuevos cabezales láser intercambiables y plataformas extraíbles que se adaptan fácilmente a la cama de impresión. Con los cual, obtenemos una máquina multidisciplinar y personalizable que podremos ir modificando en función de nuestras necesidades (Laura Ortega, 2015).

A continuación, mostramos la imagen de la nueva máquina de estereolitografía de FABtotum trabajando, y en donde podemos observar cómo genera una estructura de soporte previa al comienzo de la impresión de la pieza.

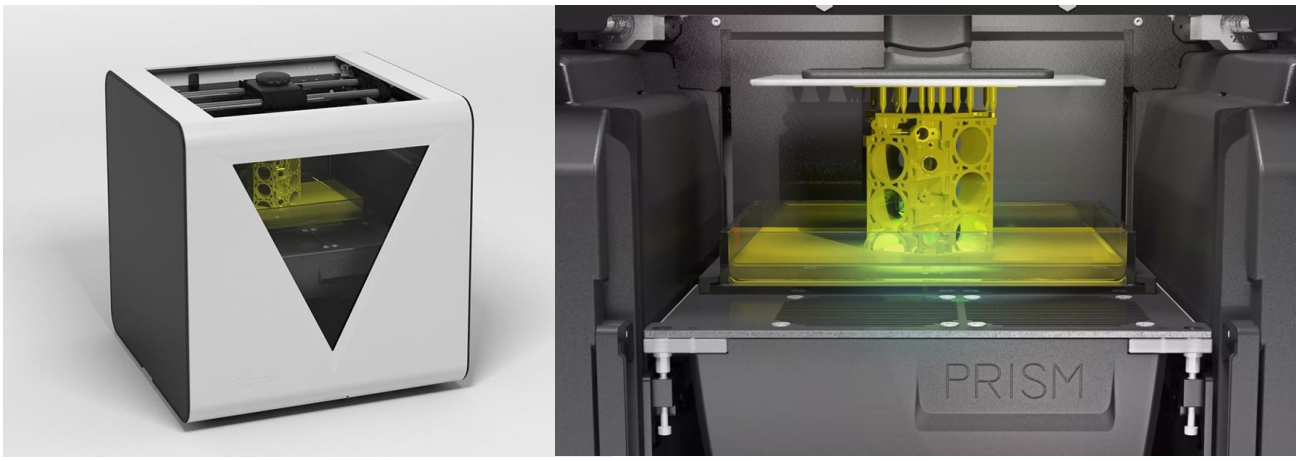


Figura 57. Nuevo lanzamiento de FABtotum PRISM- Alpaha concept
Fuente: Laura Ortega, 2015

También quisiéramos mencionar, la existencia de otro método que también trabaja con fotopolímeros conocido como fotopolimerización por luz UV, que funciona de forma muy similar a la SLA, solidificando un fotopolímero mediante un haz de luz, en este caso una lámpara UV de gran potencia. Las similitudes son tales que también necesita de estructuras de apoyo y a veces un post-curado para un mejor acabado. Una de las ventajas de este método es que la cubeta donde se deposita el fotopolímero es de menor tamaño, con lo cual, abarata los costes de trabajo (3D Printing Industry, 2015).

2.4.3.2 Sinterizado de láser selectivo (Selective Laser Sintering / SLS)

El proceso de SLS fue desarrollado por Carl Deckard y su profesor asistente Joe Beaman en la Universidad de Texas a mediados de los 80. En 1998, ambos fundaron la corporación DTM, la cual comercializó este proceso. En 2001, 3D Systems, inventor del SLA, compró DTM. A principios del 2014, expiró la patente

original del *SLS*, ampliando el camino a impresoras más accesibles basadas en ese proceso.

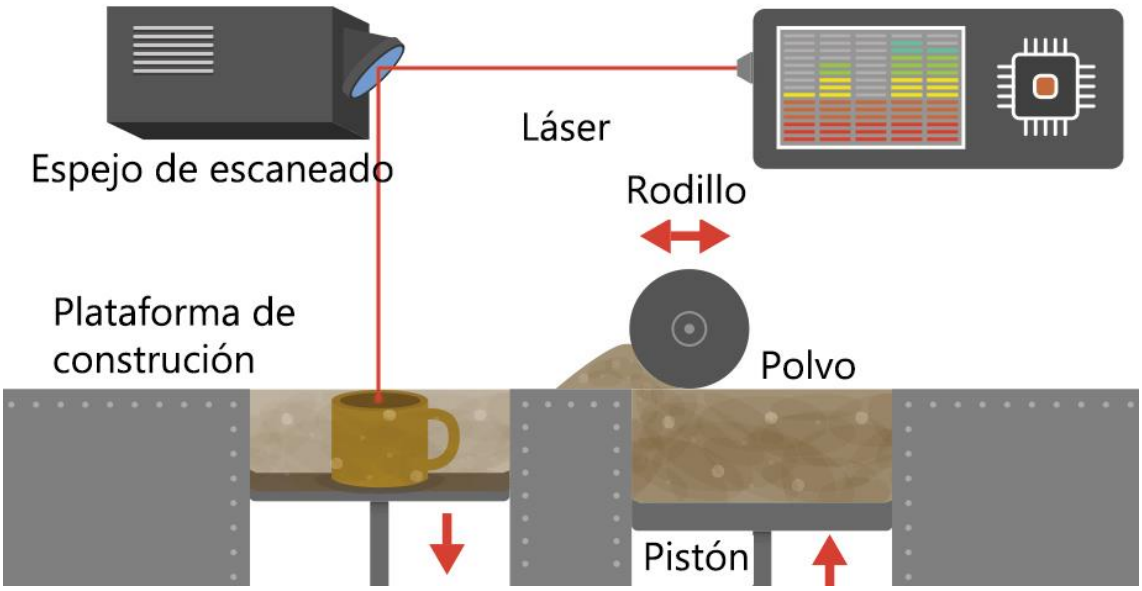


Figura 58. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante SLS
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

Esta técnica de impresión utiliza un láser que derrite y sinteriza el material (convierte el polvo fundido en sólido) de acuerdo a los parámetros introducidos en la máquina. También trabaja en el eje X-Y, y a medida que el láser traza los puntos seleccionados sobre la capa de polvo, las partículas del material se fusionan y solidifican gracias al calor. Tras esta operación, una capa milimétrica de este material en polvo es acomodada automáticamente sobre una plataforma que previamente ha sido calentada a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo.

A su vez, el láser dibuja las secciones del objeto sobre el polvo, solidificando el material. Al terminar cada una de estas capas, la plataforma baja un nivel y una nueva capa de polvo es depositada encima del objeto desde el contenedor lateral, gracias a un rodillo que aplana la superficie antes de la siguiente pasada del láser, la cual se irá fusionando con la capa anterior. Como en la técnica anterior, las piezas se concluyen con una calidad aceptable que no requiere de un mayor acabado.

Estas máquinas usan mayormente plástico en polvo, especialmente nylon, el cual es fuerte y flexible. Sin embargo, prácticamente cualquier material en forma de

polvo que se derrita bajo el calor del láser, puede ser usado como medio de impresión. Los materiales usados en este proceso, mantienen su color natural puesto que, al momento de realizar el acabado, se pueden aplicar los tintes para textiles.

En este caso no se cuenta con una estructura de soporte, ya que cada capa de polvo abarca toda la base de trabajo sin dejar ninguna sección del objeto suspendida en el aire. El objeto, parcialmente impreso, está sumergido en una serie de capas de polvo sin fundir el cual a su vez funciona como estructura de soporte. Siendo de polvo no fundido, esta estructura puede ser fácilmente extraída con aire a presión o un aspirador, incluso a través de las cavidades más pequeñas sin dañar la figura final. Esta es una gran ventaja de los procesos que trabajan con polvo, ya que nos permite trabajar con diseños de gran complejidad y cualquier exceso de polvo no fundido se puede reciclar para volver a usarlo en futuras impresiones (Warnier *et al*, 2014, p.11).

Sin embargo, algunas de las desventajas de esta técnica de impresión es que debido a las altas temperaturas con las que trabaja, los tiempos de enfriamiento del material son considerables, y la porosidad del resultado final siempre está presente, y aunque hayan mejorado, en algunas ocasiones requieren de otros acabados a posteriori para reforzar su perdurabilidad (3D Printing Industry, 2015).

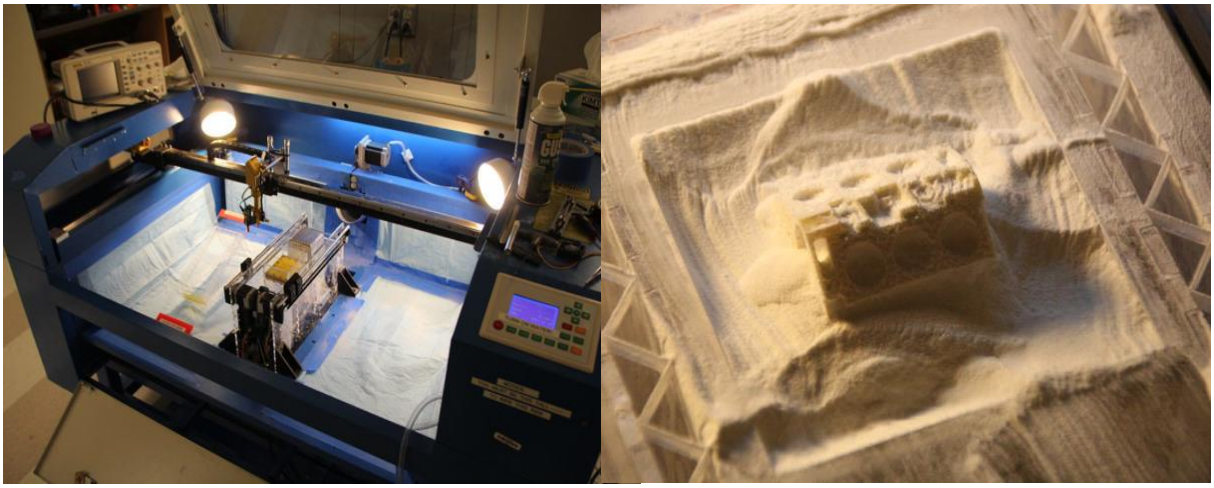


Figura 59. Impresora 3D OpenSLS trabajando y detalle impreso en nylon
Fuente: Krassenstein, E. (2014)

Por otro lado, a finales de 2013 nos encontramos con un proyecto de código abierto llamado *OpenSLS* llevado a cabo casi en su totalidad por Andreas Bastian, el cual pretende que esta tecnología sea accesible para su utilización en casa. Aunque no está destinada para un uso comercial, Bastian intenta abrir campos en la

investigación y en el planteamiento de nuevas formas de trabajo que ofrece la sinterización, como puede ser el uso de nuevos materiales de impresión (3dprint, 2014).

2.4.3.3 Impresión de tinta en polvo (3DP) o proyección aglutinante (Direct Shell Production Casting / DSPC)

El proceso de 3DP o proyección aglutinante fue desarrollado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) a principios de los 90 por Michael Cima y Emanuel Sachs, después unido a Z Corporation que ahora es parte de 3D Systems desde el 2012.

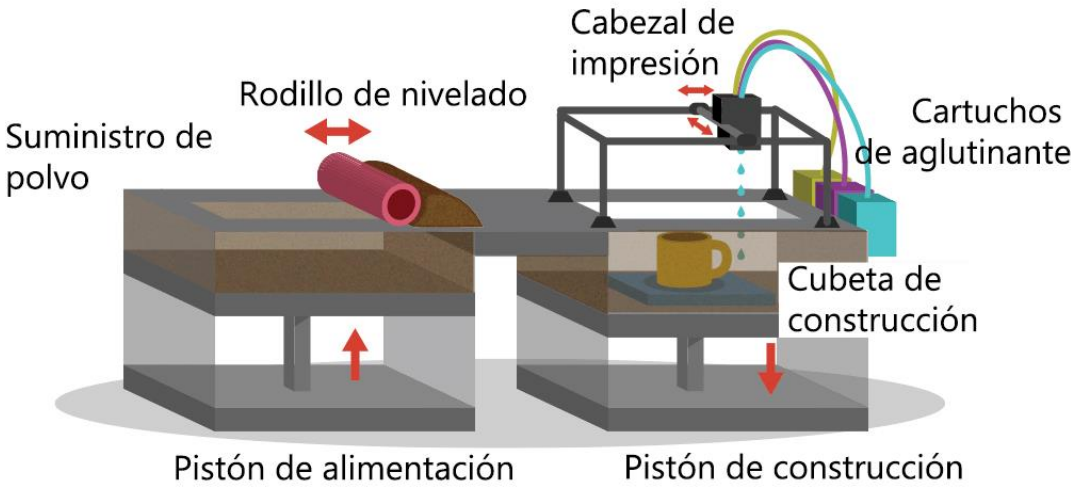


Figura 60. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *DSPC*
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

En la actualidad, la proyección aglutinante o DSPC, permite la impresión con gran calidad de detalle, siendo la tecnología precursora del concepto 3DP o impresión tridimensional, debido a que en lugar de fundir el polvo con un láser como el SLS (sinterizado de láser selectivo), un adhesivo es rociado por encima del material para unir sus partículas a modo de aglutinante. Esto se debe a que el 3DP, es el método que de entre todos los procesos de impresión en 3D más se parece a la impresión tradicional en tinta en 2D. Estas impresoras funcionan compactando polvo mediante un pegamento pigmentado moviéndose en los ejes X-Y, razón por la cual este método permite la impresión a todo color.

Respecto al funcionamiento más específico, este método parte de la

construcción por capas, al igual que los anteriores, de material en polvo que se une por medio de un aglutinante que es depositado por medio de distintas boquillas sobre la capa de polvo esparcida, en la que se trazan los datos de las secciones de la pieza, denominado técnica de chorro de tinta. Una vez finalizada una capa, la base desciende y se genera una nueva capa de polvo gracias a un rodillo que aplana la superficie y comienza el nuevo trazo hasta concluir la obra (Miguel A. Roque y Rozana Valverde, 2012).

Sin embargo, las piezas producidas por este proceso son más frágiles que las realizadas con los procesos que incluyen derretir o fundir el material. Usualmente se aplican resinas para hacer estas piezas más fuertes y mejorar sus propiedades mecánicas, rellenando los huecos microscópicos de aire y a su vez enriqueciendo la saturación de su color. En función de la utilidad que se le vaya a dar a la figura, se le aplicará un tipo de resina o incluso agua con sal, puesto que se concluyen con acabados diferentes (ZCorporation, 2011).

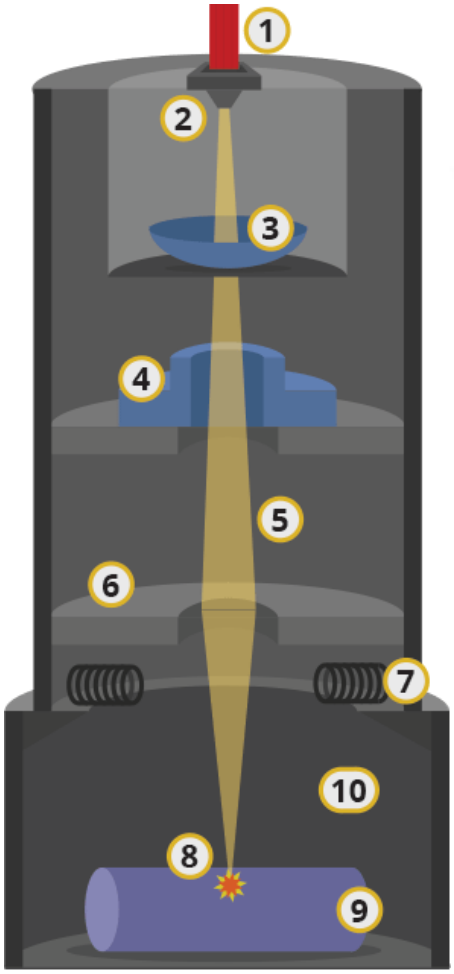
El añadir múltiples cabezales a la impresora, cada uno con colores diferentes, permite producir objetos a todo color imitando la apariencia visual de otros materiales, haciendo de ésta una técnica ideal para producciones fotorrealistas de retratos o figuras. Con esta técnica, obtenemos impresiones complejas de alta resolución, combinación de durezas y la omisión de sustentos o soportes en la construcción de la misma. Este es el único método de los que presentamos en este apartado de procesos por adhesión que trabaja con varios colores.

Figura 61. Resultado final post-procesado
Fuente: D3 Technologies

Figura 62. Extracción del polvo para su reciclaje posterior
Fuente: Chilediseno.org

Recientemente, se ha experimentado con el uso de composiciones de polvo alternas al polvo estándar de estas máquinas, para permitir que se imprima en cerámica o cristal (Warnier *et al*, 2014, p.12). Uno de los ejemplos de esta metodología lo encontramos en las impresoras Zprinter, impulsadas por la empresa Z Corporation y que poco a poco han ido evolucionando tras varias generaciones de las mismas, enfocándolas a diferentes tipos de usuarios. Estas impresoras tienen la opción de trabajar con colores CMYK mediante el uso de varios cabezales.

2.4.3.4 Fusión de haz de electrones (EBM/ Electron Beam Melting)



1. Cable de alta tensión
2. Cátodo incandescente
3. Taza de explosión
4. Anodo
5. Haz de electrones
6. Bobina de enfoque
7. Bobina de deflexión
8. Cordón de soldadura
9. Pieza
10. Cámara de vacío

Figura 63. Esquema del funcionamiento por partes de fusión de haz de electrones o EBM
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

Esta técnica de impresión en 3D denominada fusión de haz de electrones (EBM), permite imprimir piezas en metal, siendo el proceso de realización muy similar al sinterizado directo de metal por láser *(Direct Metal Laser Sintering* / DMLS) puesto que este proceso también parte de polvo metálico para la realización de piezas, y

también del sinterizado de láser selectivo (SLS) ya que la materia prima en forma de polvo se va fusionando capa a capa mediante calor hasta finalizar la pieza (3D Printing Industry, 2015). Pero la principal diferencia respecto a estos procesos de impresión radica en la fuente de energía que une las partículas de polvo, siendo en EBM un haz de electrones como su nombre indica en puesto de un láser. Para optimizar el funcionamiento del haz de electrones se trabaja al vacío, evitando de esta forma la posible oxidación del metal en polvo tras su continuo calentamiento. Como todas las técnicas que trabajan con polvo, el material sobrante que sirve como apoyo es reutilizable puesto que en la mayor parte de los casos solo un 20% de la materia es utilizado de forma directa. Así, en el sector aeronáutico esta técnica está teniendo gran auge debido a su efectividad a la hora de realizar piezas de gran complejidad y a la solidez de las estructuras realizadas.

EBM también se está empleando con su variedad de aleaciones de metales, en el sector de la medicina, sobre todo para la realización de prótesis de gran complejidad, y también en el sector automovilístico, aunque este último está en plena investigación (Sánchez, S. 2015). En cuanto al funcionamiento de EBM, es muy cercano a SLS puesto que también trabaja con material en polvo generalmente aleaciones de titanio o cromo-cobalto- que se deposita en dos cubetas en el interior de la máquina. En este caso, los materiales deben ser conductores absolutamente, ya que esta técnica está focalizada en el principio de cargas eléctricas, con lo cual, la utilización de polímeros o polvos cerámicos como vimos anteriormente es imposible mediante esta técnica.

Después, este polvo se va esparciendo en capas milimétricas, que previamente se calientan a una temperatura óptima específica para este metal, sobre la base de ejecución donde el haz de electrones dirigido por bobinas electromagnéticas va dando pasadas por las zonas de la pieza indicadas fusionándose con el polvo. Una vez la pasada está concluida, la base de ejecución desciende accediendo a la cámara de vacío, que es donde se irá concluyendo la pieza una vez se terminen de dar todas las pasadas. Este proceso de esparcir una capa de polvo, precalentarla y luego mediante el haz de electrones trazar la sección que poco a poco irá bajando hasta la cámara de vacío, se repite hasta la conclusión de la pieza.

Una vez concluida la impresión, se extrae de la cámara de vacío y mediante un extractor de aire, pasamos al proceso de la recuperación del polvo que no ha sido

solidificado por medio del haz de electrones, pudiendo así ser reciclado para futuros trabajos. Por último, se realizarán los procesos de acabado o terminación oportunos en función de las necesidades de la pieza.

La constante comparativa entre la eficacia del láser y la del haz de electrones, nos lleva a una solución en la cual, dependiendo del tiempo y el resultado final de la fabricación de las piezas, será determinante una opción u otra. Así que el haz de electrones tiene la ventaja de poder calentar el material de impresión en varios lugares a la vez, por lo que se acelera el proceso de fabricación y este hecho también conlleva a una reducción de la necesidad de soportes de apoyo. En cambio, el láser tiene la ventaja de obtener una mayor precisión de acabado puesto que el haz de electrones es más grande, y también un mayor tamaño de fabricación de piezas (Sánchez, S. 2015).

La técnica de impresión 3D de fusión por haz de electrones, es un proceso patentado y desarrollado por la compañía sueca Arcam, fundada en Estocolmo en 1997. Esta compañía, ofrece gracias a la fabricación por adhesión, soluciones rentables mediante la fabricación de piezas con componentes metálicos. Su filosofía de trabajo se caracteriza por ofrecer una gran libertad a la hora de fusionar materiales de alta calidad obteniendo resultados productivos. Arcam, también colabora con la realización de implantes ortopédicos en el sector de la medicina y con industrias aeronáuticas como mencionamos con anterioridad (Arcam AB).

A continuación, mostramos el proceso de fabricación de una pieza en la que observamos como el polvo metálico es esparcido mediante una capa milimétrica y como el haz de electrones se encuentra trazando la sección estando el polvo precalentado (imagen de la izquierda). En la otra imagen, se ve el resultado final de una pieza realizada por repetición en la que se está extrayendo el polvo sobrante que sirve de refuerzo para evitar la construcción de apoyos (imagen de la derecha).

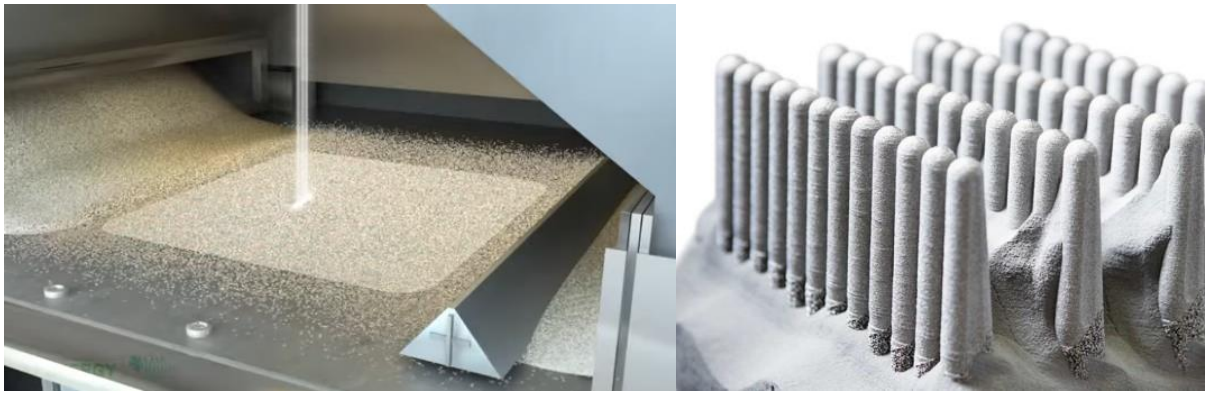


Figura 64. Impresora Arcam EBM proyectando el haz de electrones y resultado de una pieza
Fuente: Sánchez, S. 2015

2.4.3.5 Manufactura de objetos laminados (Laminated Object Manufacturing / LOM) y laminación por deposición selectiva (Selective Deposition Lamination / SDL).

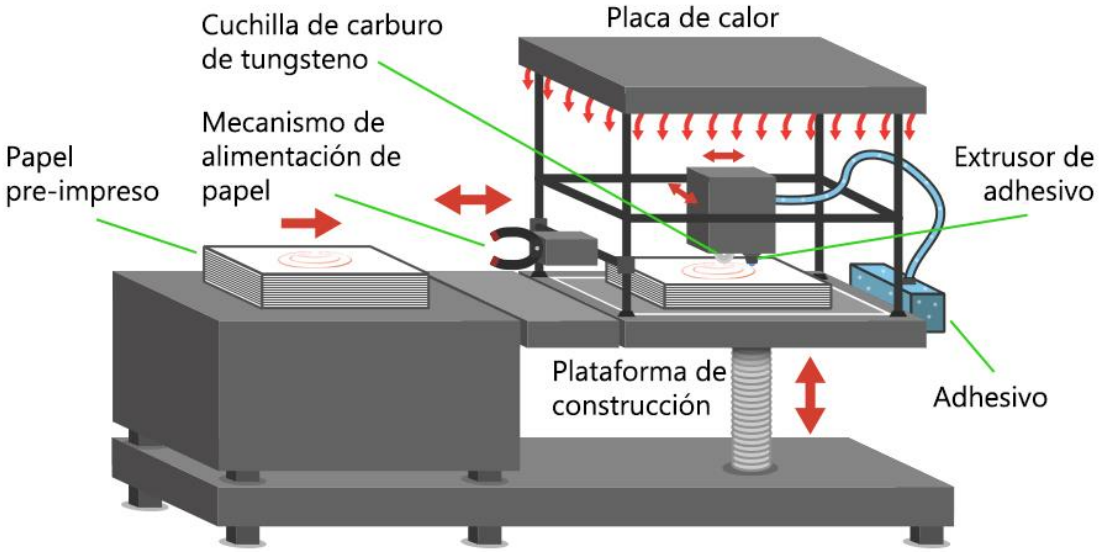


Figura 65. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *SDL*
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

El sistema de impresión LOM, fue desarrollado en California por Helisys Inc. a finales de los 80. Las impresoras de LOM, producen objetos laminando delgadas hojas de material impregnadas con adhesivo por medio de superposición. Las secciones de cada capa son cortadas por una navaja o un láser. Cuando la impresión finaliza, el modelo debe ser separado de un bloque sólido del material en el que viene incrustado. Debido a esto, no es necesario crear estructuras de soporte. El material

excedente es seccionado para facilitar su extracción, pero es muy difícil remover los orificios superficiales y pequeñas cavidades (Warnier *et al*, 2014, p.13).

Pero la compañía irlandesa Mcor Technologies, ofrece una nueva versión de la tecnología con la adición de impresión a color, que es en la que nos vamos a centrar, denominada SDL. Ésta tecnología utiliza como materia prima papel de cualquier tienda de suministros o papelería (a diferencia de LOM, el papel no está impregnado de adhesivo), aplicándose el adhesivo a base de agua únicamente en las zonas necesarias. El proceso de impresión es el siguiente: primero la máquina coloca en la plataforma de construcción una hoja de papel, sobre la cual se deposita una capa fina de adhesivo pigmentado acorde a los parámetros del modelo 3D prediseñados.

Para su posterior extracción, lo que hace el sistema SDL es jugar con las densidades del adhesivo, empleando una densidad mucho mayor en las zonas de la pieza para darle mayor solidez, y una menor densidad a los alrededores circundantes de la obra, de esta forma, a la hora de extraer a posteriori el material sobrante, nos aseguramos que la pieza final no presente ningún desmembramiento o corte.

El siguiente paso, sería la colocación de una nueva hoja de papel sobre la plataforma de construcción donde se encuentra la hoja anterior con adhesivo, la cual se unirá gracias a la presión que ejerce la maquina con la placa de calor que tiene en la zona superior. Gracias a esta presión nos aseguramos que la unión por medio de calor y presión sea más consistente. Tras este proceso, la plataforma de construcción vuelve a su lugar y mediante la cuchilla de carburo de tungsteno genera un corte bordeando la capa de la figura para facilitar su extracción final. Tras esta secuencia, se vuelve a colocar una capa de adhesivo pigmentado y otra hoja de papel sucesivamente hasta concluir la pieza (3D Printing Industry, 2015).

Figura 66. Esquema visual de trabajo del funcionamiento de la impresión por SDL
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

Una vez concluido todo el proceso, obtenemos un bloque de láminas de papel encoladas con adhesivo a color y seccionadas solo en las partes del modelo 3D. Este modelo consigue un tono continuo de color mediante la absorción de la tinta por medio del papel y lo que nosotros vemos una vez extraído el papel sobrante de la pieza que no está pigmentado, es una acumulación de bordes de papel también pigmentados, que, en su conjunto, forman una figura realista como observamos en la figura que mostramos a continuación:

Figura 67. Proceso de extracción de material laminado y resultado final a color mediante SDL
Fuente: Scoot J. Grunewald 2015

Podríamos concluir este método de impresión como un punto y aparte entre los procesos por adhesión y los procesos que veremos a continuación por deposición, ya que utiliza ambos procesos; por un lado, adhiere material laminado capa a capa y a su vez, como método de fusión, deposita adhesivo pigmentado que pasará a ser la pieza final una vez se extraiga el material sobrante.

2.4.4 Procesos de impresión por deposición

En este proceso de impresión, la materia prima con la que se trabaja es extruida mediante una o varias boquillas en el cabezal de la impresora, el cual deposita el material mediante patrones lineales capa a capa sobre una plataforma que va descendiendo a medida que la maquina imprime la figura. A diferencia de la categoría anterior, el objeto resultante no termina incrustado en el propio material, por lo que se necesita crear un soporte adicional para que las partes sobresalientes de la pieza no queden flotantes y de esta forma pueda concluir la figura independientemente de lo compleja que sea y la posición en la que se encuentre (Warnier *et al*, 2014, p.13).

El problema que puede generar la realización de estas estructuras de soporte es que, en algunos casos, aunque compositivamente sea menos sólido y duradero, siempre hay partes que no se despegan bien, teniendo pues que realizar un post-proceso de saneamiento o baño con algún solvente para igualar todas las partes de la pieza y así poder comenzar con la terminación de la pieza ya sea pintándola, barnizándola o cubriéndola con cualquier otro material.

2.4.4.1 Polyjet

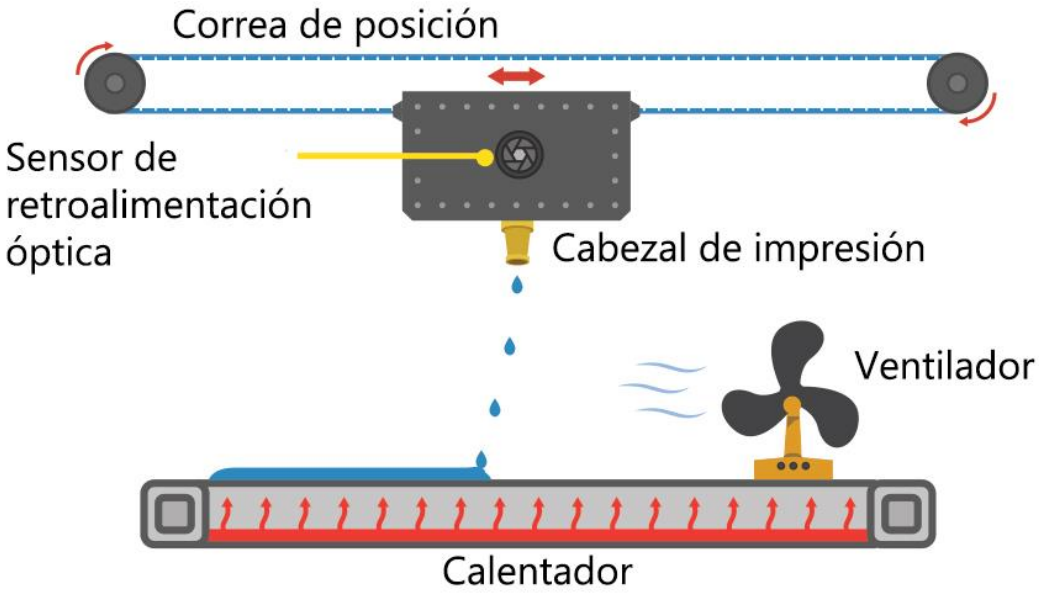


Figura 68. Esquema de funcionamiento de la tecnología Polyjet
Fuente: (3D Printing Industry, 2015)

Polyjet se desarrolló gracias a la compañía Object en el 2000, pero fue en 2012 cuando Object decidió incorporarse a Stratasys, creadores de las máquinas de FDM. Polyjet es una de las técnicas más recientes que se han incorporado a esta tecnología de adición de material. Este proceso similar a la SLA, también trabaja con fotopolímeros líquidos, pero a diferencia de ésta -que se sumerge en un baño de resina y se solidifica por medio de un láser- la impresión 3D de Polyjet usa un cabezal similar al de la impresión de tinta para inyectar directamente gotas microscópicas de fotopolímero líquido sobre una bandeja de trabajo, que poco a poco va mostrando el objeto al endurecerse. Al terminar cada capa, el fotopolímero que sigue líquido es curado con luz ultravioleta la cual lo solidifica, dando paso a la generación de una nueva capa. La ventaja de este proceso de impresión es que es el más apto para obtener una alta definición, una amplia variedad de materiales y colores para producir piezas más realistas con la terminación más suave y de alta calidad.

Polyjet también utiliza diferentes cabezales y cartuchos como los de una impresora tradicional de 2D, permitiendo imprimir simultáneamente en diversos materiales y colores. Las máquinas de alto rendimiento pueden producir objetos de hasta 14 materiales y colores al mismo tiempo entre un rango de más de 100 opciones. Esto significa que un mismo objeto puede tener propiedades de un material que varía de rígido a flexible y con colores de opacos a transparentes (Warnier *et al*, 2014, p.15).

Otra ventaja de este proceso de impresión es que, debido a esta pluralidad de opciones de impresión, podemos imprimir la estructura de soporte empleando un material por medio de uno de sus múltiples cabezales, con un material soluble o gelatinoso que luego puede ser lavado o enjuagado una vez finalizada la pieza. Este aspecto es un punto a favor respecto a las demás técnicas de impresión que generan estructuras de soporte, porque a la hora de desunir las piezas, jugando con la composición del material, nos permite un acabado perfecto sin ningún tipo de astilla o resto que sea dificultoso de quitar.

Figura 69. Modelo 3D impreso con múltiples materiales
Fuente: Stratasys 2015

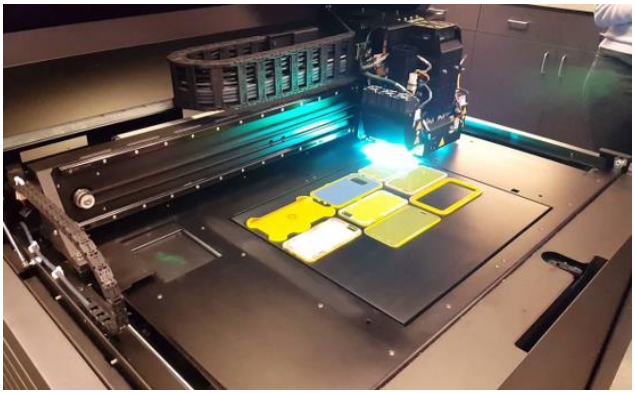


Figura 70. Impresora Polyjet en funcionamiento
Fuente: Nicolás Boullona, 2016

2.4.4.2 Extrusión de alimentos

En la actualidad, este concepto de la impresión 3D de alimentos aún no está definido con exactitud, aunque se percibe como un gran paso para la creación culinaria contemporánea. A grandes rasgos podríamos definir este término como el método a través del cual poder elaborar algunas recetas tradicionales por medio de las nuevas tecnologías, pudiendo con estas, elaborar formas o creaciones complejas que manualmente sería casi imposible. Éstas impresoras 3D de alimentos parten del concepto de impresión FDM, que consiste en extruir el alimento por medio de una boquilla que trabaja en los ejes X-Y (también existen máquinas que trabajan con eje Z) sobre una base que puede estar estática o ir subiendo y bajando. El alimento se irá acumulando por superposición de capas del mismo hasta formar estructuras tridimensionales. Al igual que pasa con los métodos de impresión como el *SLS*, *DSPC* o *EBM*, una vez concluido el proceso de ejecución de la obra, debemos realizar un post-proceso o sinterizar, o en este caso cocinar el alimento, que en función de la máquina que estemos empleando, podrá realizarse en la propia impresora o en otro lugar (Davide Sher y Xavier Tutó, 2015).

Como hemos visto anteriormente, las tecnologías de impresión en 3D siempre parten de sus hermanas pequeñas, las impresoras tradicionales en 2D. En ese sentido, cabe mencionar el caso del chef del restaurante Moto en Chicago, Homaru Cantu, que ya en el año 2005 se decantó por utilizar las impresoras 2D como una nueva alternativa de creación. El sushi confeccionado por Canto, no llevaba pescado y estaba envuelto por una fina capa de papel comestible hecho con soja y maíz, con

imágenes impresas mediante una Canon i560. La impresión por medio de este sistema requería de unas tintas orgánicas especiales que el mismo creaba basadas en sabores de otros alimentos (Vergara González, J., 2007). En este sentido, Cantu empleó una técnica muy parecida a los procesos de impresión de varias tintas simultáneas como Polyjet.

En el 2010, científicos de la University of Exeter plantearon un nuevo método de impresión utilizando en esta ocasión chocolate gourmet como materia prima. Se realizó un riguroso estudio analizando tanto el comportamiento a la hora de la deposición de las capas de chocolate, como las propiedades físicas del mismo. De este modo la velocidad de extrusión o la altura de la boquilla, eran fundamentales para que la impresión del chocolate fuera óptima (Davide Sher y Xavier Tutó, 2015).

Figura 71. Resultado de un dulce impreso con Chefjet (izquierda) y Chefjet Pro (derecha)
Fuente: Willet, Megan Willet, 2014

Actualmente grandes empresas como 3D Systems también han apostado por la fabricación de impresoras enfocadas al sector de la alta repostería, recurriendo al azúcar o el chocolate como materia prima de impresión. Chefjet y Chefjet Pro son sus dos primeras invenciones puestas a la luz en 2014, en las que Chefjet nos permite realizar piezas con solo un sabor y color obteniendo un tamaño máximo de hasta 20x20x15cm aproximadamente, utilizando el agua en puesto de adhesivos como aglutinante del azúcar en polvo. Por otro lado, la Chefjet Pro que amplía los campos pudiendo imprimir con varios colores y sabores simultáneamente y obteniendo resultados de hasta 25x35x20cm aproximadamente. También mencionar entre estas dos nuevas tecnologías a la start-up española, Natural Machines con su impresora de alimentos Foodini.

2.4.4.3 Modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modelling / FDM)

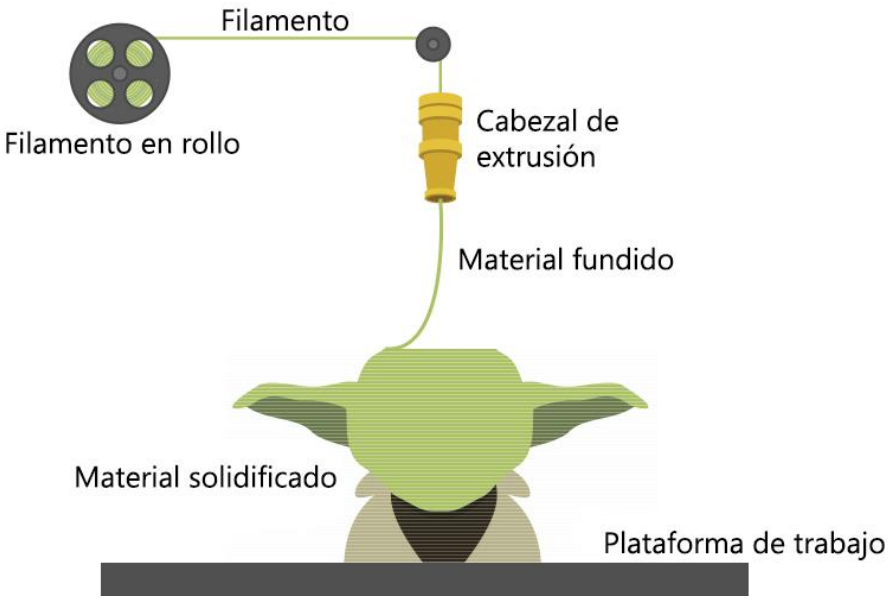


Figura 72. Explicación del funcionamiento de una máquina FDM
Fuente: 3D Printing Industry, 2015

FDM fue desarrollado por Scott Crump a finales de los 80, y comercializado por Stratasys, compañía fundada por él mismo en 1988. Algunas de las patentes de este proceso expiraron en 2009, dando lugar a alternativas de código abierto que funcionan de forma muy similar, conocidas con el nombre de fabricación con filamento fundido (FFF) tales como el proyecto RepRap, gracias al cual surgen varias impresoras 3D que también emplean la metodología de extrusión como la Makerbot o la Ultimaker estando ya comercializadas.

El FDM a su vez, es un proceso en el que un filamento termoplástico que se encuentra en forma de rollo, se va introduciendo en una cámara de fundido, el cual es posteriormente extruido -entre 0,5-1ºC por debajo de la temperatura de fusión del material, (Infante Martín, R., 2012)- a través de una boquilla que trabaja en los ejes X-Z. El objeto a imprimir se va construyendo capa a capa sobre la plataforma de construcción, gracias al material fundido que se va depositando a modo de hilo semilíquido.

Una vez comenzada esta primera línea que equivale a una capa de la construcción total de la pieza, las demás capas se irán uniendo a la anterior a través del calor endureciéndose al contacto con la misma. El sistema de trabajo del FDM es muy similar al funcionamiento de una pistola de silicona, siendo ésta, la idea principal

en la que se inspiró la invención de esta máquina.

Por su uso con termoplásticos estándar, el FDM es usado comúnmente en la producción de piezas funcionales por su gran resistencia, sin embargo, la superficie de los objetos impresos tiende a mostrar un resultado más tosco que en las otras técnicas. El FDM, funciona principalmente con termoplásticos como el nylon, ABS, PLA y policarbonato. Por otra parte, también se han desarrollado otro tipo de materiales partiendo de termoplásticos y cargas en polvo obteniendo como resultado, materiales tales como la madera, el metal o la cerámica.

Generalmente está limitado a imprimir en un color; sin embargo, las máquinas de alta calidad cuentan con varios cabezales, ampliando el uso de sus posibilidades como la utilización de dos colores a la vez o la impresión del material de soporte disoluble. Esta técnica no permite que la pieza esté incrustada dentro del material como en el SLS o el EBM, por lo que es necesario generar una estructura de soporte que funcione a modo de andamio para sujetar las partes del prototipo que queden voladizas. Dicha estructura debe tener menor solidez para poder ser separada fácilmente del objeto final, llegando en ocasiones al empleo de herramientas adicionales debido a su fuerte adhesión con la figura, cosa que sucede en innumerables ocasiones.

Los soportes pueden ser impresos en un material termoplástico soluble utilizando un segundo cabezal, que debe ser disuelto en un baño químico dejando el material de la pieza final intacto (Warnier *et al*, 2014, p.14). Nuestro proyecto artístico se concentra en este método, debido a que contamos con el acceso a una impresora Ultimaker original. Esto nos permite analizar el material potencialmente más adecuado y con mejores prestaciones para esta máquina. También nos permite analizar cuáles son las ventajas o inconvenientes de dichos materiales, o la exploración de las múltiples posibilidades que nos brindan estas tecnologías para su utilización en el panorama artístico.

A continuación, mostramos un prototipo realizado con nuestra impresora Ultimaker original, donde puede observarse el funcionamiento del cabezal de extrusión y la plataforma de trabajo, la cual hemos recubierto de un adhesivo para facilitar su extracción y no dañarla.

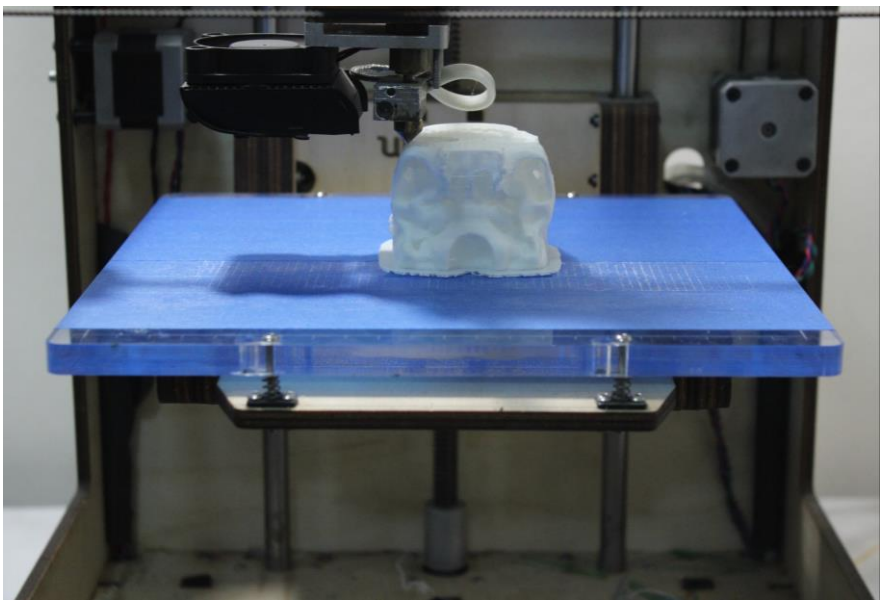


Figura 73. Ultimaker original imprimiendo una pieza mediante PLA
Fuente: Elaboración propia

2.5 MATERIALES DE IMPRESIÓN

Al igual que existen innumerables sistemas de impresión, cada uno de ellos funciona de una forma diferente empleando materiales específicos en función del sistema que usemos. Como mencionamos anteriormente podemos encontrar los materiales en forma de polvo metálico o cerámico, plásticos, fotopolímeros, papel, alimentos como el azúcar o chocolate, etc. Este acontecimiento ha llegado al punto en que múltiples empresas se han interesado en la fabricación de materiales enfocados a diferentes sectores de trabajo, como es el caso del sector de la odontología, puesto que, para la realización de cualquier prótesis, guía quirúrgica o recambio, se necesita un material que cumpla las necesidades específicas de este sector (3D Printing Industry, 2015).

La variedad de materiales disponibles para impresión en 3D ha ido en aumento desde que se comercializó esta tecnología. Si bien, no todas las máquinas pueden procesar todos los materiales, se cuenta con una amplia gama de alternativas en lo que a la presentación del material de impresión se refiere, entre las que se incluyen a rasgos generales:

- El polvo, que lo encontramos en diferentes componentes enfocado a cada una de las máquinas de impresión como el nylon, la poliamida o cualquier material en forma de polvo que se derrita bajo el calor del SLS; el cristal o la cerámica

para la DSPC y también metales como el titanio o el cromo-cobalto para EBM.

- La resina o fotopolímeros líquidos pigmentados, encontrándolos en la SLA o en la tecnología Polyjet, la cual permite trabajar mediante múltiples boquillas con fotopolímeros de diferentes composiciones, ya sean rígidos-flexibles o transparentes-opacos.
- El papel, que encontramos en cualquier papelería en formato A4, lo utiliza tanto la tecnología LOM como la SDL, respetando el medio ambiente, pudiéndose reciclar a posteriori y teniendo un fácil acceso.
- Alimentos**,** sobre todo enfocados en el sector de la repostería en sus inicios, como el azúcar o el chocolate pero que ha evolucionado hasta el punto de poder imprimir cualquier alimento que esté encapsulado y pueda ser depositado por la máquina de impresión.
- Filamentos en forma de bobina o rollo. El plástico y sus variedades como son los más comunes, destacando el PLA y ABS entre otros a la hora de realizar una impresión por medio de FDM. Estos materiales son bastante fuertes y resistentes, presentándose en una amplia gama de colores.

Cabe destacar que nuestro énfasis radica en la exploración del plástico en forma de bobina, centrándonos en el PLA como material de trabajo. Por este motivo, haremos un breve sondeo de los diferentes plásticos que se emplean en la impresión FDM, y una vez mencionado, comenzaremos con el desarrollo del proyecto y las ventajas, y desventajas que nos han ido surgiendo con este material.

2.5.1 Materiales para la impresión mediante FDM (Fused Deposition Modelling)

El ABS y el PLA son los plásticos más comunes para este tipo de máquinas de impresión, encontrándolos en diferentes colores y espesores. Aunque en la actualidad se desarrollan nuevos tipos de plásticos y mezclas con aditivos desarrollados específicamente para impresoras, a continuación, mostraremos algunas de sus características generales, así como los grados con los que se trabaja, o su composición:

Tabla 4. Listado de materiales, composición y descripción para FDM

265° C	PC	Policarbonato	Fuerte, resistente a impactos, impresión limpia. Requiere altas temperaturas de fundido y extrusor especial.
240 - 250 °C	Nylon	Mezcla poliamida alifática	Resbaloso y maleable. Excelente para partes que serán sometidas a fricción. Comúnmente usado en polvo en el proceso de aglutinación. Se obtiene en forma de filamento. Plástico fuerte, flexible y duradero. Color natural: blanco. Puede ser pigmentado.
260 - 280 °C	Aluminio	Mezcla de nylon con aluminio en polvo	Sus usos y aplicaciones son en general semejantes a las del nylon; tiene una mayor resistencia mecánica y puede formar láminas con mayor facilidad.
215 - 250° C	ABS	Acrilonitrilo-butadieno- estireno	El material más común para impresoras 3D de plástico. Fuerte y disponible en varios colores. Desprende un olor desagradable mientras se funde.
215 - 240° C	Bendlay	Formula de ABS modificada.	Altamente flexible y limpio con gran adhesión a la superficie. Fuerza moderada.
220 - 230 °C	HIPS	Poliestireno de alto impacto	Como el ABS pero se disuelve instantáneamente en limoneno (disolvente orgánico). Es más barato que el ABS y se usa como material de soporte.

212 - 224° C	PET	Tereftalato de polietileno	100% reciclado. Inoloro. Altamente claro. Manufacturado por degradación de materiales comestibles.
160 - 220° C	PLA	Ácido poliláctico	Fácil de adherir a la plataforma ya que no requiere la cama caliente para apilar las capas. Derivado de plantas y biodegradable. Viene en diferentes grados de rigidez, elasticidad y colores.
180 - 200° C	PVA	Alcohol polivinílico	Se disuelve fácilmente en agua fría. Usado comúnmente como material de soporte.
120 - 150° C	PCL	Poli-caprolactona	Fácil de fabricar en casa con aditivos. Generalmente se produce en forma de perdigones.
175 - 250° C	Laywood	Laywood	Compuesto del 40% de madera reciclada, obtenemos una textura similar a la madera. A mayor temperatura más oscuro se extruye el material y a menor temperatura más claro.
850 - 1000 °C	Cerámica	Mezcla de silicatos y óxidos fundidos	Estos materiales son relativamente nuevos en el campo. Tienen una gran resistencia al calor y son buenos aislantes.

Fuente: makezine.com

También mencionar que dentro de los tipos de filamentos clásicos como pueden ser colores como el blanco, negro, gris, azul o rojo, tanto opacos como translúcidos, podemos encontrarnos otros acabados como sucede con el filamento termocromático, que tiene un aditivo que le permite cambiar el color sin perder las propiedades del mismo en función de la temperatura a la que se halle expuesto. Con lo cual, antes de imprimirlo tendrá un color y durante la impresión, como el material se tiene que derretir para poder unir las capas del mismo, se depositará en la base de construcción con otro color.

Figura 74. Copa impresa con PLA termocromático. Cambio de color tras verter agua caliente
Fuente: Filament4Print

Un ejemplo de este efecto lo vemos al verter agua caliente sobre un vaso impreso en 3D, en el que pasa de estar de color negro a blanco. Estos efectos o cambios de tonos los podemos encontrar en varias combinaciones de color.

Otro material camaleónico interesante es el PLA fotocromático, en el que en esta ocasión cambia su color en función de la luz arrojada sobre él. Con lo cual tendríamos un resultado cambiante dependiendo del lugar que lo situemos, si sólo penetra la luz en la mitad de él, sólo cambiará en esa zona de la pieza. Esta versión en la que modifica su aspecto en función de la luz, podríamos subdividirla en PLA-UV y PLA fosforescente o que brilla en la oscuridad. También lo encontramos de diferentes cambios de color, de blanco a rojo, a verde, de amarillo a naranja… entre otros.

Figura 75. PLA fotocromático UV enrollado en la bobina. Se observa el cambio de color sólo en las partes donde incide la luz
Fuente: Filament4Print

El segundo grupo de fotocromáticos sería el fosforescente o *Glow in the dark*, en el que, tras haber absorbido cierta cantidad de energía en forma de radiaciones, es capaz de almacenarla y volver a emitirlas, pero con una amplitud de onda diferente durante un tiempo prolongado. Por norma general, la energía emitida en forma de luz es siempre menor que la absorbida. Este fenómeno lo encontramos en innumerables ocasiones en algunos juguetes o en las manecillas del reloj (Mónica González, 2010).

En el ejemplo que mostramos, el PLA en estado normal es color crudo o natural, pero cuando desprende la energía absorbida se ve verde luminoso. También está en versiones que ilumina en rojo o azul.

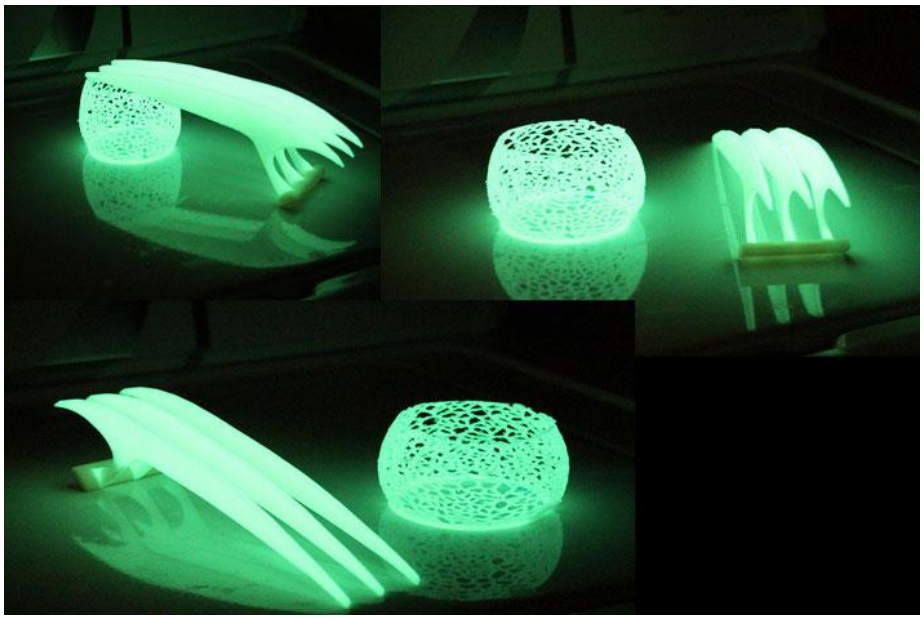


Figura 76. Prototipos impresos en PLA fotocromático *Glow in the dark* (brilla en la oscuridad)
Fuente: Mónica González, 2010

Otros filamentos interesantes que podemos mencionar son el acabado en madera y el flexible**.** Como su nombre indica, el filamento de madera está compuesto en parte, alrededor de un 30-40%, de madera reciclada y el acabado simula la textura y apariencia de una talla tradicional en madera, siendo esta una opción bastante útil en el campo de la restauración ya que en ocasiones la realización de piezas complejas implica un elevado coste y tiempo de realización.

Figura 77. Prototipos impresos con filamento de madera
Fuente: https://www.3dmarket.mx/p/filamento-de-madera-experimental/

Por el contrario, la apariencia tosca y sólida de la madera se ve suprimida en el filamento flexible**.** Este filamento tiene la ventaja de poseer una gran resistencia, durabilidad y sobre todo la flexibilidad que lo convierte en una buena opción para la realización de objetos como neumáticos, piezas que tengan que soportar presión o también para la realización de utensilios o juguetes para niños. La principal diferencia con el PLA tradicional o prácticamente con el resto es que estos tienen un acabado rígido y no se pueden doblar, y otra ventaja del filamento flexible es que evitamos que se rompa a mitad de impresión, suceso que acontece frecuentemente con filamentos de mayor espesor como los de 3mm, que cada vez se usan menos a día de hoy por inconvenientes como este. El único problema, por decirlo de alguna forma, es que para la impresión de este material se requiere de una cama caliente para poder elevar la temperatura de la plataforma de impresión puesto que se trabaja a una velocidad menor y a mayores temperaturas de extrusión (Filament2Print, 2016).

Figura 78. Rueda impresa con filamento flexible
Fuente: http://makermex.blogspot.com.br/2015/03/filamento-tpe-o-ninjaflex.html

Este concepto de impresión de un material que aparentemente sea duro pero que al tacto sea flexible o blanco, nos hace recordar la escultura pop americana realizada por el artista Claes Oldenburg, el cual presenta obras a gran escala en espacios urbanos o piezas jugando con los conceptos opuestos a la escultura tradicional como lo duro y lo blanco, lo rígido y lo flexible… incitando a que el espectador toque la figura. Una de sus célebres obras *Floor Cake (1962)* es un claro ejemplo de este concepto que a su vez está construida como si de una impresión en 3D se tratara, mediante capa a capa.

El proceso de trabajo de esta pieza realizada con lona cosida y pintada mediante varias capas de pintura, rellenada con espuma de poliuretano (que es suave y flexible) y cajas de cartón de helados[39] como la obra en sí misma, nos muestra un diagrama del funcionamiento actual de la impresión en 3d por superposición de capas de material hasta conseguir un volumen, que a su vez es maleable como un filamento flexible (Albertson, C., 2009).

[39]Consultar: https://www.moma.org/explore/inside_out/2009/11/09/claes-oldenburg-conservation-of-floor-cake-week-2/

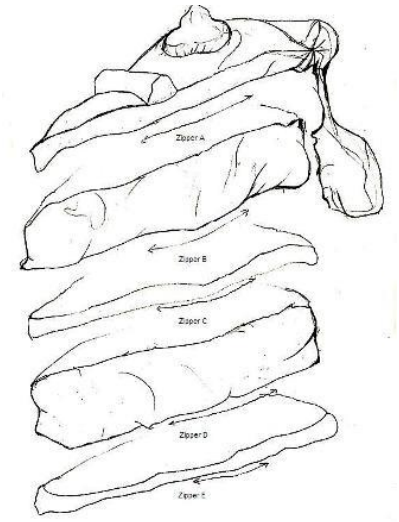


Figura 80. Boceto seccionado de la pieza
Fuente: Cindy, Albertson, 2009

Figura 79. Obra *Floor Cake* (1962) del artista Claes Oldenburg expuesta en el MOMA
Fuente: Moma.org

Para cerrar este apartado de materiales de impresión en 3D, algunos ejemplos de trabajo en el que se muestren pruebas de contacto para poder contemplar mejor el material con el que vamos a trabajar, son requisitos fundamentales de cualquier artista, puesto que el contacto con un material novedoso implica una nueva experimentación. Una simbiosis con él mismo buscando una adecuación hasta que el desarrollo de la obra fluya poco a poco. Ahora mostraremos algunos de ellos en el que se aprecia el material en estado sólido original en forma de bobina. Después colocamos, otra muestra en forma de placa impresa con el mismo material y luego la aplicación de un agente externo para ver como interactúa con el mismo, si lo agrede o sufre alguna deformación.

Este tipo de procesos, los analizaremos en profundidad cuando comencemos a hablar sobre el desarrollo de piezas artísticas mediante impresoras 3D, incluyéndolos en anexos mediante fichas técnicas que engloban todo el proceso, la calidad del material, color, textura, maleabilidad, el cómo estaban y que efectos se han producido tras la agresión o tratamiento aplicado… entre otras cosas.

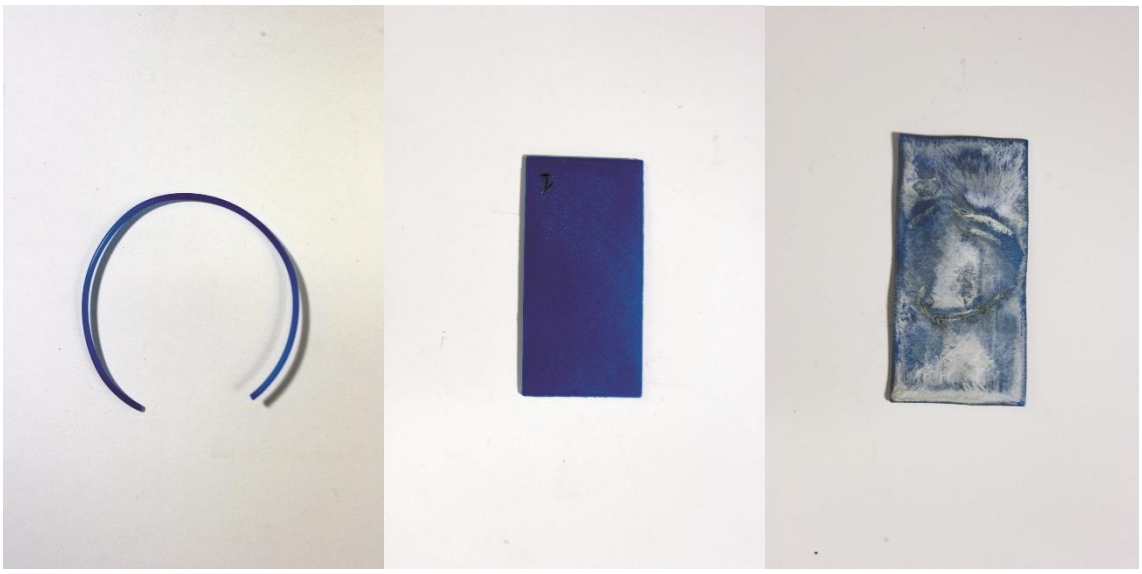


Figura 81. Fragmento de PLA translúcido azul, impresión del mismo en forma de placa con Ultimaker original y bañado con solvente Thinner americano

En este caso, el empleo de PLA en color azul translúcido hace que cuando le damos un baño mediante inmersión en solventes, en este caso con Thinner americano, la pieza impresa se vuelve mucho más maleable y flexible, sufre una decoloración a causa de la inmersión directa con el solvente ya que si realizáramos un baño mediante vapor sería menos agresivo, y una deformación considerable.

CAPÍTULO 3

REFERENTES ARTÍSTICOS Y CULTURALES DE NUESTRA PROPUESTA PERSONAL

Aunque nuestra investigación ha buscado sus propias señas de identidad, en pos de un lenguaje propio y singular, sería ingenuo por nuestra parte, no aludir a aquellos referentes artísticos y culturales que de alguna manera, en muchos casos indirectamente, han marcado un itinerario a lo largo de nuestra propia investigación. Aunque la tarea realmente es ardua, y cada uno de los casos tiene sus propias particularidades, hemos considerado oportuno, por un lado agrupar aquellas manifestaciones próximas a los procesos deconstructivos, independientemente de si se trata de arquitectos, artistas plásticos o digitales. Del mismo modo, también ha sido necesaria otra clasificación que atendiera a los creativos más directamente relacionados con los procesos constructivos asociados a las impresoras 3D.

3.1 ARTISTAS DE LA ACUMULACIÓN Y EL LAMINADO: NUEVAS FORMAS DE PICTO-ESCULTURA Y DECONSTRUCCIÓN

Antes de abordar el apartado concerniente a nuestra investigación con las máquinas de control numérico y las impresoras 3D, así como los posibles materiales de trabajo, estimamos necesaria una reflexión sobre algunos artistas con los que compartimos cuestiones estéticas de gran calado. Nos referimos principalmente a características de sus creaciones con las que encontramos una clara afinidad, entre ellas destacar: la disposición del material, la fusión del universo pictórico y escultórico, los formatos tipo “sándwich” y la idea de acumulación de finas láminas, todo ello desarrollado con variaciones a partir de ligeras deformaciones.

Siendo conscientes de la imposibilidad de citarlos a todos, y sin ánimo de ignorar a los no mencionados, nos detendremos en el análisis de los artistas que más nos han impactado y que a continuación relacionamos: Maya Lin, Ball Nogues (Benjamin Ball y Gaston Nogues), Ji Eun Lee, David Rodriguez Caballero, Proyectos arquitectónicos, Markus Linnenbrink, Eduardo Costa, Bernard Frize, Ian Davenport, y Jen stark.

3.1.1 Maya Ying Lin (Ohio, 1959)

Figura 82. Retrato de Maya Lin
Fuente: mayalin.com

La norteamericana Maya Ying Lin (Ohio, 1959), ha mantenido un equilibrio cuidadoso entre el arte y la arquitectura, desarrollando en su carrera un *corpus* notable de trabajo en el que podemos encontrarnos con instalaciones a gran escala ideadas para ubicaciones específicas, materiales gráficos de estudio con un carácter mucho más íntimo y trabajos puramente arquitectónicos. Entre las temáticas más frecuentes de sus trabajos a gran escala destacan diversos monumentos conmemorativos, y proyectos relacionados con grandes intervenciones paisajísticas, en esa línea destacar el *Vietnam Memorial*, 1982 monumento que la hizo famosa. Por otro lado, entre sus materiales gráficos existe una gran coherencia donde los planteamientos a gran escala, buscan la exploración de nuestra relación con el paisaje y la naturaleza. Dentro de esa línea de trabajo, cabe mencionar obras como: *Donde la Tierra Encuentra el Mar* (2008, un dibujo en el espacio basado sobre la topología de la Bahía de San Francisco) *Línea de Once Minuto* (2004, una línea de tierra de 1.600 pies de largo por 12 pies de alto, atravesando un prado en Suecia) y *La Agitación* (2005, 20.000 pies cuadrados de terraplén esculpido comisionado para un palacio de justicia federal en Miami).[40]

[40] Disponible en su propia página web:www.mayalin.com

Su material gráfico de estudio ha sido mostrado en innumerables museos de USA, Italia, Dinamarca, y Suecia. Una de las exposiciones más memorables de esta artista fue: *Paisajes Sistemáticos*, que se abrió en la galería de Henry Art de Seattle, siendo una de las primeras muestras en las que se traduce la escala y la coherencia de sus instalaciones exteriores al espacio interior de un museo. Los trabajos arquitectónicos de Lin han sido aclamados por la crítica tanto estadounidense como a nivel internacional. Sus instalaciones crean un diálogo entre el paisaje y la arquitectura; en las que ella defiende la práctica del diseño sostenible en sus trabajos.

Paisajes sistemáticos, (2006)

Los paisajes reconstruidos de Lin, atraviesan las salas de los museos generando una sensación de movimiento al mismo tiempo que inserta los elementos más orgánicos de la naturaleza. Sus curvas, sus desniveles, lo accidentado de las montañas, o las depresiones de los valles, se extienden tanto por el suelo como por las paredes, encontrándonos con un mundo que a pesar de haber sido trazado a partir de un mapa topográfico digitalizado, tiene al fin una materialización que nos devuelve a las estructuras reales y palpables a las que se alude.

Su trabajo mezcla una tipología de formas naturales, como ríos, montañas o mares, con un lenguaje visual de análisis científico representado por rejillas, módulos y mapas. En la práctica artística, Lin combina una comprensión del ideal y el verdadero encuentro del espectador con el modelado conceptual, escultural y arquitectónico.

Paisajes Sistemáticos está compuesto por un trío de instalaciones a escala monumental: *2x4 Paisaje* (2006), *Línea De agua* (2006) y *Pase de Lago Azul* (2006). Cada escultura ofrece un medio de expresión diferente para los espectadores con el fin de comprender una representación esquemática de formas de paisaje. En estos proyectos, Lin explora las relaciones modernas de las personas con la tierra, condensadas, deformadas e interpretadas por nuevas tecnologías como el ordenador. Ella traduce una serie de entornos del paisaje seleccionados por su belleza inspiradora y reproduce sus hábitats en nuevos entornos espaciales expositivos, donde los espectadores pueden experimentar e interactuar. De nuevo, volvemos a encontrar otra constante en su trayectoria artística basada en el papel

protagonista del espectador. En ese sentido Lin (2000) afirma: “Me gusta pensar en mi obra, como la creación de una conversación privada con cada persona, más allá de lo pública que la misma pueda ser o la cantidad de gente que esté presente” (p.5).

La primera y más grande de estas instalaciones, *2x4 el Paisaje* (2006), es una colina enorme, una onda construida de más de 50,000 abetos y la pasarela de cicuta, cortada en varias longitudes y dispuesta por acumulación. Evocando a un montón de tierra o una elevación del océano, este trabajo presenta un paisaje moderno a una magnífica escala. La instalación en parte, se inspira en las colinas de Palouse ubicadas en Washington, un paisaje ondulante formado por flujos de lava volcánicos. Su formato es aproximadamente 60x20x10 pies y sugiere una pixelación, la interpretación digital de una forma real.

Figura 83. Maya Lin, El paisaje, 2006, acumulación de teselas de madera, 60x20x10 pies
Fuente: Marisa TenBrink, 2009

Water Line (2006), sugiere la representación de mapas de superficies submarinas localizadas en el Océano Atlántico Sur, una isla volcánica cerca de la Antártida. Concebido como una gran escala, “el dibujo de línea” en el espacio, puede ser perimetrado y visto desde ángulos diferentes. Para construir este modelo esquelético y topográfico, Lin colaboró con científicos en el Instituto Oceanográfico de Woods Hole para fabricar una interpretación a ordenador de este paisaje en gran parte invisible, dando lugar a una nueva forma física contorneada mediante el uso del cable. Suspendido desde arriba, *Línea De agua* proporciona una vista inesperada del mundo natural.

Figura 84. Maya Lin, *Water Line*, 2006, tubos de aluminio y pintura, 579,1x 914,4 x1.059,2 cm
Fuente: Marisa TenBrink, 2009

El Pase de Lago Azul (2006), está compuesto por modelos de una sierra real cerca de Colorado, en el que la artista va reproduciendo las formas a escala mediante acumulaciones de laminados en forma de rejilla. Los huecos creados por esta serie de secciones de nueve pies cúbicos de terreno recreado, proporcionan nuevos caminos por donde los espectadores pueden introducirse a modo de laberinto. Se trata de grandes volúmenes de madera que simulan perfectamente las topografías del paisaje del Colorado.

Figura 85. Maya Lin. *Blue Lake Pass,* 2006, instalación de aglomerado de partículas Duraflake, 20 bloques, cada uno de 76,2 x 91,4 cm x 91,4 cm
Fuente: Marisa TenBrink, 2009

Otra serie representada en la exposición: *Los cuerpos de Serie De agua* (Mar Caspio, Mar Rojo, y Mar Negro), 2006; los *Paisajes de Atlas* (Rand McNally el Nuevo Atlas Internacional, el Cosmopolita de Rand McNally, el Atlas Mundial, y el Atlas de Universidad), se publicaron entre 1981-1987, 2006 cambiado; *Pastillas de Bosquejo* (Pálido, Kentucky, y Colorado), 2004-2005; *Paisaje De cable*, 2006, y *Paisajes de Alivio de Yeso*, 2005.

Mar Negro
(46.7cm x 151.8cm x 84.8cm)

Mar Rojo
(53.3cm x 235cm x 43.2cm)

Mar Caspio
(48.3cm x 148.6cm x 83.5cm)

Figura 86. Maya Lin, *Bodies os Water Series*, 2006, contrachapado de abedul del báltico
Fuente: Marisa TenBrink, 2009

Además de estas instalaciones, Lin había creado un nuevo proyecto expresamente para el Corcoran College of Art, The George Washington University, titulado como el *Río de Alfiler* - Potomac (2009). Hecho completamente de alfileres incrustados en la pared, esta representación topográfica está basada en el Río Potomac. El Río-Potomac une *Paisajes Sistemáticos* con el paisaje de la mitad del Atlántico de un modo único. Este proyecto además contó en su instalación con la implicación de los estudiantes del Corcoran College of Art.[41]

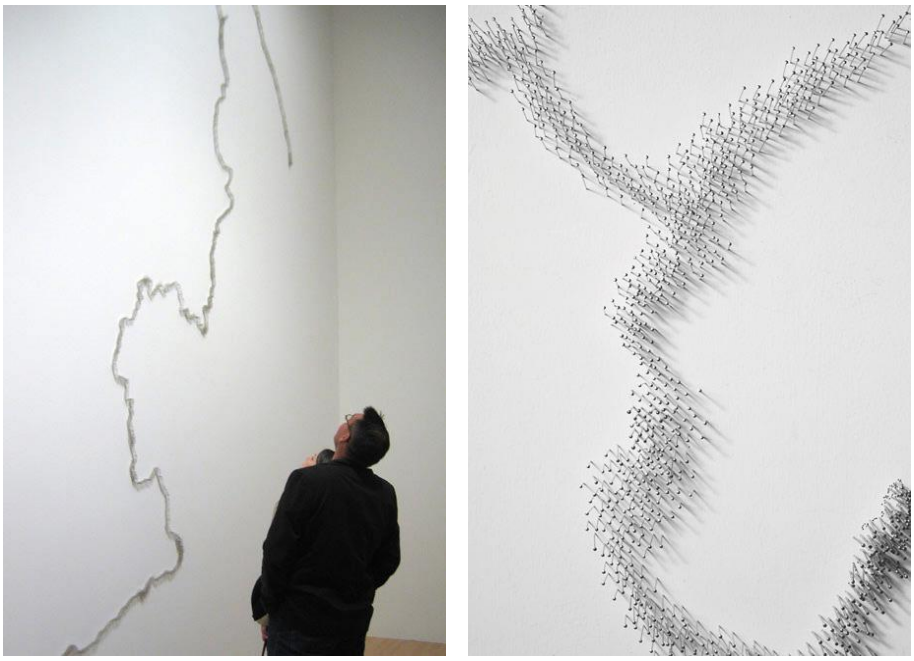


Figura 87. Maya Lin, *Pin River-Hudson*, 2009, alfileres de acero, 261.6 x 191 x 3.8 cm
Fuente: metmuseun.org

Como venimos insistiendo, el dialogo entre sus obras y el espectador es una constante, y está presente de un modo muy marcado en uno de sus últimos proyectos, todavía en proceso, el titulado *Memorial What is missing*, iniciado en 2009. En este caso el monumento está dedicado a la pérdida de la biodiversidad y del hábitat y es una muestra más del espíritu innovador y comprometido de Maya Lin. Utilizando el sonido, los medios, las ciencias y la presencia en la web, y

[41] Esta obra, formalmente nos recuerda al trabajo de otro artista contemporáneo como es Baptiste Debombourg (Francia, 1978). Este último también trabaja con la acumulación, pero en su caso se trata de millones de grapas incrustadas en la pared, que en su conjunto acaban simulando un grabado clásico de grandes dimensiones, tal como sucede en su serie *Air Force One,* 2007-2008

adoptando diversas formas que se desarrolla en varios lugares simultáneamente. Así Arte, ciencia y tecnológica, se funden con el fin de conseguir remover nuestras conciencias como espectadores ante los peligros del cambio climático y de la destrucción de nuestro planeta.

3.1.2 Ball-Nogues (Benjamin Ball y Gaston Nogues)

Figura 88. Retrato de Benjamin Ball y Gaston Nogues
Fuente: Ball.Nogues Studio

Benjamin Ball (Waterloo, Iowa 1968) y Gaston Nogues (Buenos Aires, 1968), exploran el nexo entre arte, arquitectura y diseño industrial. Sus proyectos han sido exhibidos por instituciones de todo el mundo como: el Museo de Arte Contemporáneo de Los Ángeles, el Museo de Arte Moderno de Nueva York, el Museo Guggenheim de Bilbao, la Bienal de Venecia, el Museo de Hong Kong, la Bienal de Beijing, entre otros. A su vez, han recibido numerosos premios del Instituto Americano de Arquitectos de diseño y becas importantes como la de la fundación Graham de Estudios Avanzados en Bellas Artes. Por otro lado, también han participado en la enseñanza de programas de posgrado de diferentes universidades de América.

Dentro de su gran variedad de proyectos, y atendiendo a nuestras preferencias estéticas y expresivas, nos vamos a centrar en dos de ellos, concretamente: *Rip Curl Canyon* y *Tiffany&CompanyGehryJewelryLaunch*, ya que establecen similitudes con el tratamiento artístico que potencialmente pretendemos desarrollar por medio de la acumulación de PVC y su posterior deconstrucción.

Rip Curl Canyon

Este proyecto fue realizado en 2006, encargado por la Rice Gallery en colaboración con el Museo de Bellas Artes de Houston. Al iniciarlo se dieron cuenta que tenía ciertas similitudes con su otro proyecto *Tiffany & Company Gehry Jewelry Launch,* y que la noción de paisaje y los fenómenos geológicos, encajaban perfectamente en ambos.

La construcción de esta obra está realizada mediante superposiciones de láminas de cartón cortado con precisión, para simular un paisaje en el cual el espectador pudiera introducirse en su interior. En el día a día de la exposición, se podía observar como el visitante interactuaba físicamente con la obra, escalándola, paseando por encima de ella o descansando.

Rip Curl Canyon recrea un espacio mítico en el Oeste americano, donde la tierra y el agua chocan entre sí. El gran formato, así como la simulación a escala, supuso una constante exploración de materiales y técnicas de construcción que finalmente se materializó con la fabricación de la instalación. El proyecto requirió más de veinte mil planchas de cartón laminado, con un peso de ocho toneladas aproximadamente.

Figura 89. Benjamin Ball y Gaston Nogues, *Rip Curl Canyon,* 2006, cartón y madera, dimensiones variables
Fuente: Ball.Nogues Studio

Figura 90. Benjamin Ball y Gaston Nogues, *Rip Curl Canyon*, 2006, cartón y madera, dimensiones variables
Fuente: Ball.Nogues Studio

Tiffany & Company Gehry Jewelry Launch

Esta compañía de joyas, contrató a los arquitectos Ball-Nogues para crear un ambiente ante la inauguración del lanzamiento de una línea de joyas diseñadas por Frank Gehry. Esta obra, trataba de una estructura adosada a la pared simulando un elegante telón de fondo, como si envolviera a una figura humana. Constaba de cuatro mil planchas de cartón ondulado intercaladas entre sí. En la parte central de la obra, había una serie de pantallas cuadradas inspiradas en el *Étant Donnés* (1946-1966), de Duchamp, pero portando las joyas de diseño que Gehry lanzaba al mercado. Lo particular de estos encajonados era que ninguno era igual y constaba de veinticuatro a lo largo de todo el telón.

Lo que nos llamó la atención de estas dos propuestas fue cómo los autores convierten por medio de la acumulación, a un material pobre y de uso común como el cartón, en una infraestructura bella, elegante y de gran solidez, capaz en sí misma de soportar grandes pesos.

Figura 91. Benjamin Ball y Gaston Nogues, *Tiffany & Company Gehry Jewelry Launch,* 2006, cartón y madera, 19”x 60”x20”
Fuente: Ball.Nogues Studio

Llegados a este punto, nos resulta muy interesante la continuidad del universo orgánico en la construcción del espacio claramente influenciada por su contacto con el famoso arquitecto Frank Gehry. Tanto Nogues como Ball trabajaron durante su época de estudiantes para él. Sin duda ese contacto les ayudó a consolidar un lenguaje plástico muy atractivo. Al mismo tiempo la magnitud de los proyectos, les llevó a resolver problemas técnicos de gran dificultad, (Nogues era conocido como "el tipo que podía construir cualquier cosa"). Por otra parte, Ball posteriormente a su paso por el estudio de Gehry, se convirtió en un escenógrafo y diseñador de producción en la industria cinematográfica, interviniendo en grandes producciones como *Matrix* y sus secuelas posteriores. Sin duda, todas estas experiencias profesionales, y el trabajo en equipo, les han dotado de competencias y habilidades que en el caso del escaparate para *Tiffany & Company Gehry Jewelry Launch*, les permite poner en valor, un material pobre como el cartón, capaz de transmitir ideales válidos para anunciar una campaña de un producto caro y elitista como las joyas diseñadas por Frank Gehry para Tiffany.

3.1.3 Ji Eun Lee (Corea)

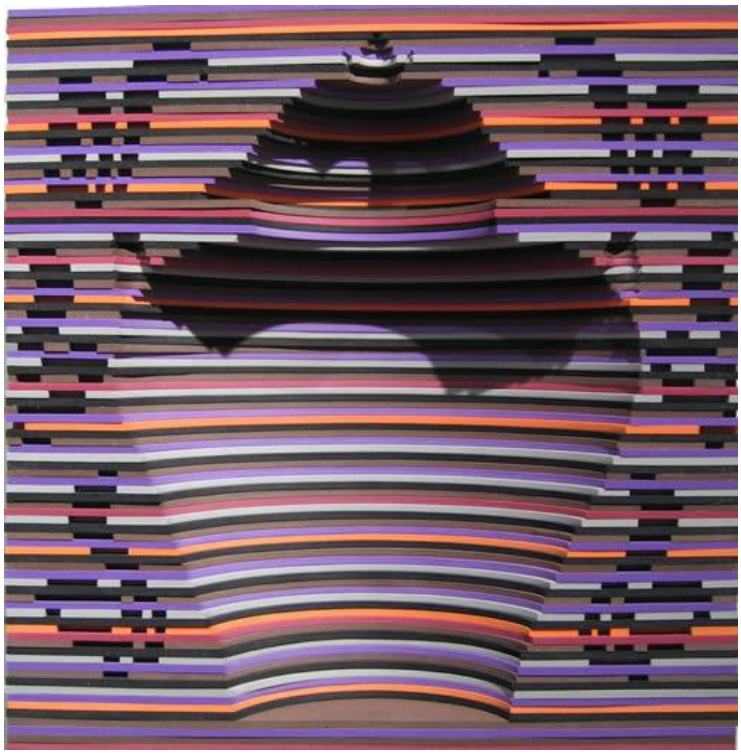


Figura 92. Ji Eun Lee, *Sin Título*

El lenguaje artístico que se está desarrollando en Corea en un momento de producción cultural que podríamos definir como "de la inmediatez", está suponiendo un continuo reflejo en el arte emergente de las insistentes presiones socio-culturales y políticas que sufre el país. Jóvenes artistas como Ji Yong-Ho (Seul, 1978) y sus esculturas con acumulación de restos de neumáticos usados, metáfora de un mundo como el actual donde los paisajes naturales han sido sustituidos por el asfalto, y donde las especies animales ahora son seres mutantes adaptadas a un nuevo entorno contaminado y lleno de desechos y polución.

Figura 93. Ji Yong-Ho, *01 Mutant*, 2006, neumático, madera, EPS, 125 x 110 x 110 cm

En la misma línea que Ji Yong-Ho, nos encontramos con su compatriota Ji Eun Lee. En este último sus obras también realizadas por acumulación, esta vez de láminas de goma EVA, sirve para hablarnos de los materiales vinculados a situaciones de tránsito, en este caso el embalaje. Todos ellos llegaron a ARCO 07 de la mano de la galería GANA ART Gallery de Seúl, y donde Corea fue el país invitado de esa edición. Ji Eun Lee, por su parte, trabaja en el campo de la instalación, una "disciplina" que muchos interpretan como una solución ante la búsqueda de una nueva dirección en la tradicional escultura coreana. Lee introduce en sus instalaciones formas de objetos cotidianos dándole importancia a la huella del propio objeto.

Figura 94. Ji Eun Lee, *Sin título*, goma E.V.A, 50 x 140 x 7cm

Las obras de Ji Eun Lee reflejan el proceso de búsqueda de huellas de objetos cotidianos que cambian constantemente de lugar, adquiriendo una mayor conciencia de la existencia del objeto como forma vaciada tras extraerlo de su caja. La artista esculpe su silueta invirtiendo el proceso escultórico al convertir formas sólidas en su equivalente hueco. Por otro lado, también transforma las formas escultóricas de objetos en contornos extraídos de ellas, sugiriendo los límites que existen entre las sustancias y las sombras de las cosas.

3.1.4 David Rodríguez Caballero (Pamplona, 1970)

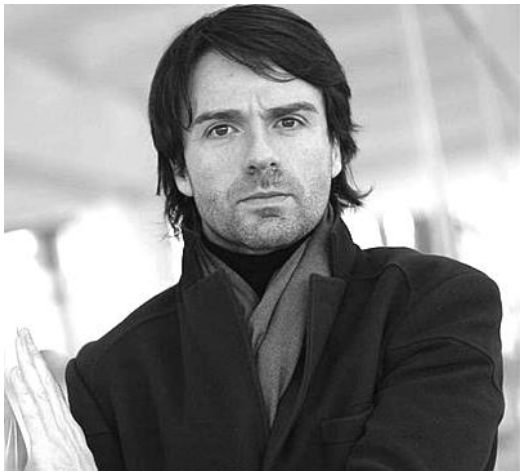


Figura 95. Rodríguez Caballero, retrato fotográfico

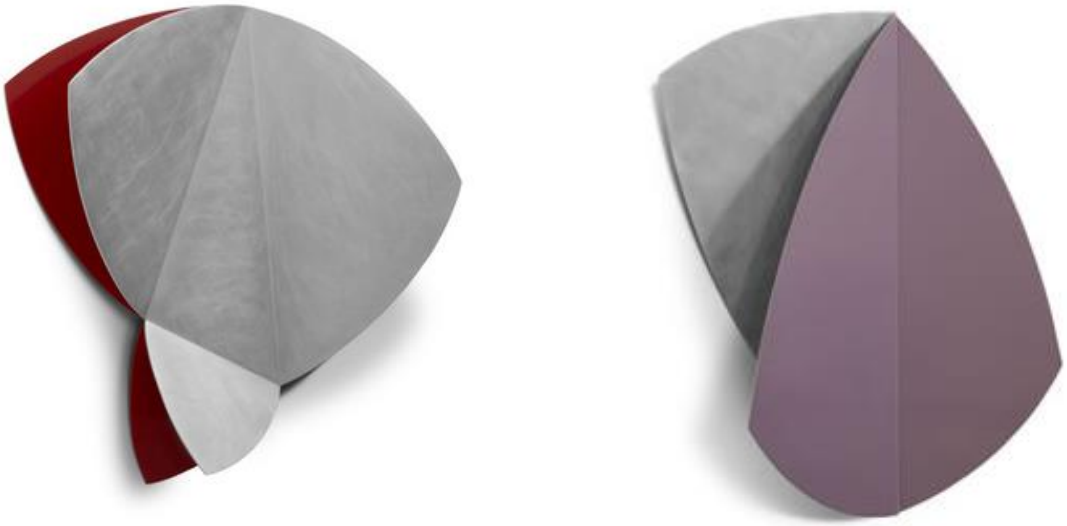
Este artista afincado en Nueva York, apuesta por la combinación geométrica de planos, pliegues y curvas, siendo ésta un mecanismo con el que establecer un lenguaje creativo y reflexivo desde un acercamiento pictórico sobre el color, la transparencia y la opacidad de sus figuras. Sin embargo, sus piezas también juegan con la luz, estableciendo una dualidad entre luz, materia y color.

Pero la luz no es un componente de la materia a la hora de su realización, como puede tener el óleo o el acrílico, sino un componente del resultado final de la obra adquiriendo esta una calidad particular. Sus obras de la serie *origanis* nos recuerdan a las formas resultantes del plegado del papel, pero en este caso hablamos de un soporte mucho más complejo y sólido, aunque que al verlo a simple vista parezca que se va a descomponer.

Otros materiales como el plexiglass, aluminios, vinilos y esmaltes están continuamente en sus obras, aplicándole campos de color a posteriori, formando planos periféricos medidos y meditados, ya sea con óleo sobre el aluminio pulido o mediante vinilos de color.

Este autor, nos llamó la atención por su idea de "traspantojo" y engaño visual, sus obras aparentemente orgánicas y de gran tamaño, parecen estar realizadas con papel, ya que la forma que adoptan nos recuerda a los procesos de plegado de papel y las construcciones de papiroflexia. Sin embargo, en realidad se trata de objetos realizados con materiales completamente sólidos y duraderos como el aluminio,

donde el color ayuda a generar esa confusión que oculta la verdadera identidad del material.



73,5 x 70 x 16,5 cm

76 x 88 x 16 cm

Figura 96. Rodríguez Caballero, *Serie Geometrías*, 2011, esmalte sobre aluminio
Fuente: Marlborough

Viendo estas construcciones picto-escultóricas se pone de manifiesto una contradicción, donde por un lado se percibe una fe en la tradición pictórica, pero por otro lado, se intuye también un alejamiento donde los nuevos materiales y los procesos industriales seriados se contraponen. A ese respecto García, A (2009) afirma:

> Precisamente, esa evocación a la tecnología de nuestro tiempo, pero desde un proceder tan antiguo como la pintura, permite entender sus planteamientos no sólo iconográficos, sino también técnicos de los materiales empleados. Los acabados fríos y sofisticados que proporcionan las pinturas industriales empleadas también pueden entenderse como un reflejo del clima general de la sociedad de hoy, al mismo tiempo que la geométrica también alude a la falta de comunicación de las sociedades contemporáneas. En gran medida ese sentir afecta a gran parte de la producción pictórica postmoderna y fomenta la utilización de este tipo de materiales de carácter industrial. (p.172)

Llegados a este punto, los materiales tienen gran importancia a la hora de comprender la trayectoria de David Rodríguez. En cierto modo su trabajo puede ser clasificado en cinco líneas principales: plexis, aluminios, origamis, vinilos y esmaltes. La variedad en el uso de materiales en su caso no es inocente y su intencionalidad lo acercaría a la obra de pintores como Robert Ryman (1930), al que David Rodríguez admira profundamente. El artista norteamericano es un referente entre los pintores que persiguen métodos relacionados por las pruebas de laboratorio llevadas a cabo por los científicos. A partir de 1965 y en su serie de “monocromias” adopta un método de trabajo sistemático y temático; que empieza incorporar en la nomenclatura de sus obras, los nombres del fabricante de la pintura que usa. Ryman investiga todos los efectos visuales posibles que pueden obtenerse a partir de las variaciones de texturas, de bordes, de soportes y brillos. Procesos sistemáticos que salvando las distancias nos interesan mantener en nuestra propia propuesta personal y que vienen configurando el panorama pictórico contemporáneo.

Figura 97. Rodriguez Caballero**,** *Sin título (amarillo, azul y blanco)*, 2007, vinilo sobre lamina de policarbonato, 26 x26 cm

En ese sentido la investigación de Rodríguez Caballero en su serie *vinilos*, todavía estaría más próxima a los planteamientos que perseguimos en nuestro proyecto artístico. El plástico ahora, es en sí mismo la pintura del presente, lejos ha quedado el uso del óleo como técnica principal de nuestra disciplina.

3.1.5 Proyectos arquitectónicos

Hemos querido hacer mención de dos proyectos arquitectónicos ya que nos recuerdan al formato laminado tipo “sándwich” pero a una gran escala. El primer proyecto, fue realizado por el estudio de arquitectura y diseño británico de *Zaha Hadid Architecs*, ubicada en Londres desde 1979. La obra en concreto fue una propuesta para un conservatorio de danza y música.

Figura 98. Vista nocturna del proyecto en relación con el entorno

Uno de sus aspectos fundamentales fue el establecer un diálogo con los edificios de su alrededor exagerando los patrones compositivos de volumen. Su forma orgánica nos recuerda al PVC cuando le aplicamos calor.

Se puede apreciar que una de las cuatro esquinas superiores sobrepasa la altura media de las otras tres. El resto de la infraestructura está construida por una serie de ondulaciones horizontales de diferentes tamaños y densidades, dando lugar a zonas con diferentes opacidades. Este tipo de estructura, aporta una variedad de condiciones de iluminación, que permite una visión clara en algunos espacios, mientras que solo muestra siluetas en otros.

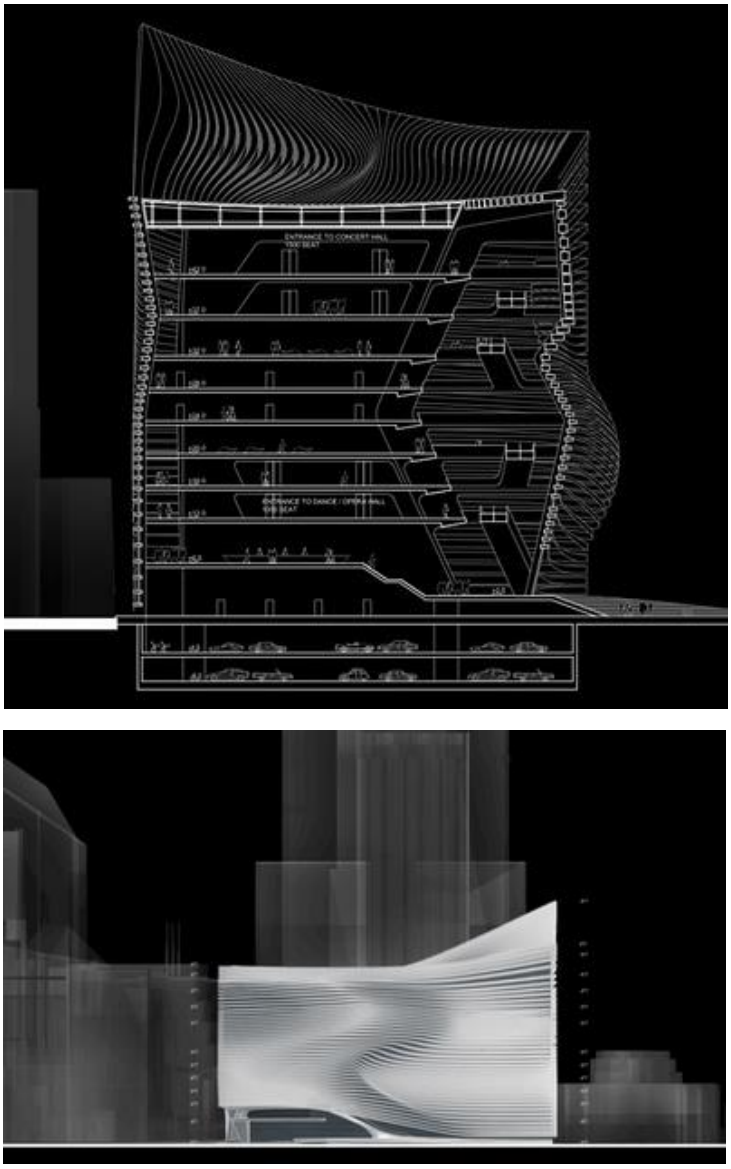


Figura 99. Simulación virtual del conservatorio tanto interno como externo

El segundo proyecto, pertenece a la empresa *Promtorio Projects Hotels*, y fue diseñado en 2005 y abierto al público en 2009 en Grandola (Portugal). En este caso, lo que se le propuso a esta empresa fue la adición de una estructura de trece pisos, en una parte de un edificio ya construido por el arquitecto brutalista Conceicao Silva (Lisboa, 1922-Brasil, 1982).

Figura 100. Maqueta de la fachada para el Casino Hotel Troia

Esta parte que parece de espejo, sería la propuesta adosada. El patrón es muy parecido a la de *Zaha Hadid*, ya que predomina la horizontalidad, la linealidad y la sensación deformada del mismo; aunque en este caso, la intervención sería únicamente de la fachada y en la obra anterior, la intervención no está sujeta a ningún acoplamiento.

Figura 101. Vista nocturna del Casino Hotel Troia

3.1.6 Markus Linnenbrink (Dortmund, Alemania, 1961)

Figura 102. Markus Linnenbrink, retrato fotográfico
Fuente: The Columns Gallery

Markus Linnenbrink es un artista alemán que vive y trabaja en Brooklyn, Nueva York. Este artista multidisciplinar domina tanto el campo de la pintura como el de la escultura a diversas escalas, incluso la instalación, siendo este su último trabajo en el que la pintura invade todas las paredes, suelos y techos de la galería. Su sugerente y matérica pintura es una continua experimentación con diversos materiales mediante la mezcla de pigmentos en seco, agua, capas acrílicas y resina epoxi, generando a su vez una transparencia y solidez de la pintura creando olas de color.

Figura 103. M. Linnenbrink, *Let´sgetchineseeyes,* 2012, 140x250
Fuente: The Columns Gallery

Dentro de su amplia producción artística, nos llaman especialmente la atención, la series *Gotas de color* y *Ejercicios* (The Columns Gallery. 2010).
En *Gotas de color* destaca la multiplicidad de líneas de color creadas mediante el goteo de la pintura, haciéndolo evidente en la parte inferior de la obra. Esta viveza del color, nos sumerge mediante la belleza y sencillez encada una de sus obras.

En otras obras como *Ejercicios*, se perciben intensas variaciones de color en la superficie del cuadro mediante la excavación de numerosos círculos concéntricos, introduciéndose en el interior de la obra para desvelarnos las diferentes capas de los vibrantes colores que la forman. En esta ocasión, las capas las trabaja en horizontal a diferencia de la obra anterior, por lo que necesita introducirse para que el espectador pueda ver el interior, la construcción y los cimientos de la obra.

Figura 104. Markus Linnenbrink, *Remadewhitehorizons*, 2009*,* resina epoxi sobre madera, 77.4 cm x 82.56 cm
Fuente: markuslinnenbrink.com

En las obras de Linnenbrink, lo artístico lo podemos observar también en sus títulos, en los que encontramos continuos juegos de palabras que hacen referencia a sentimientos y emociones del mismo autor. No obstante, establece una dialéctica entre la intención y el azar, entre la improvisación y lo deliberado; por un lado, estaría la elección intencionada de los colores y su creación, y por el otro su comportamiento al caer gravitatoriamente tanto en horizontal como en vertical, sobre planos o volúmenes, siendo la acumulación y las incisiones, las que luego nos desvelen el

proceso creativo. El artista da rienda suelta a multiplicidad de interpretaciones, dejando que el ojo del espectador pasee libremente sobre la conglomeración de las bandas de colores.

Figura 105. Markus Linnenbrink, *Skull 3 & 4-lifesize, 2011,* resina epoxi y pigmentos sobre cráneos de enseñanza
Fuente: markuslinnenbrink.com

Estas acumulaciones de color, se tornan especialmente volumétricas cuando se trata de su serie *Skull,* donde mediante pigmentos aglutinados con resinas epoxi, hace vertidos en múltiples capas sobre el volumen de unas calaveras. Las interpretaciones pueden ser múltiples, por un lado, podríamos leer un acto vandálico que se orquesta sobre uno de los géneros tradicionales del arte y de la pintura, como la vanitas, Por otra parte, podríamos llegar a pensar que el autor ha querido transmitirnos simplemente una nota de color, un rayo de esperanza sobre el siempre dramático y doloroso, episodio de la muerte. Incluso, en su sentido más banal, podríamos pensar en una intervención de lo más Kitch donde los cráneos destinados a la enseñanza se llenan de color ante la mirada de los jóvenes estudiantes. Cuando los temas son tan aparentemente serios de origen, caben como hemos mencionado infinidad de posibles interpretaciones, y será el espectador, en su propio contexto religioso, cultural, o socio-político el que completará el sentido de las piezas. Aspecto

que a título personal nos ha animado en nuestra propia investigación a explorar este territorio, y a realizar como veremos más adelante, nuestra propia serie de calaveras.

3.1.7 Eduardo Costa (Argentina, 1940)

Figura 106. Eduardo Costa, retrato.

Eduardo Costa, es uno de los artistas conceptuales con más importancia en el panorama actual. Desde finales de los sesenta, en Nueva York, formó parte de un grupo de artistas entre los que se encontraban celebridades como Vito Acconci, Dan Graham o John Perreault. Sus obras volumétricas formadas únicamente con acrílico, constituyen el grueso de sus últimos trabajos, y son las que más nos han interesado en cuanto su valor como manifestaciones picto-escultóricas que desafían las convenciones del marco, entendido como el límite trazado por el bastidor. Con *Pinturas Volumétricas*, Costa ha desarrollado un inusual trabajo en el cual aplica y acumula capas y capas de pintura mediante pincel y espátula, que una vez secas, se muestran como un volumen más propio de la escultura que de la propia pintura con la que están confeccionadas. Esta serie tiene su origen en 1994, cuando el autor encontró en su estudio un bote con pintura acrílica, que, al estar mal cerrado, con el paso de los años hizo que se convirtiera en un volumen de color.

De allí surge la idea de utilizar la pintura como medio para crear volúmenes, partiendo de frutas, retratos y hortalizas, trabajando en ellas tanto la parte externa como en sus espacios interiores; y sintetizándolo todo hasta concluirlo en monocromos geométricos sin otra materialidad que la del propio pigmento y el aglutinante.

Figura 107. Eduardo Costa, *Accidental intersection of a red cylinder and a fluid plane*, 2008, pintura acrílica sobre lienzo, 61 x 47 x 20 cm
Fuente: abstractioninaction.com

Con estos trabajos finales, Costa rompe las reglas de la pintura tradicional, ya que la pintura se expande fuera de los límites de la obra, convirtiéndola en una superficie sólida y maciza que cubre y envuelve en su totalidad al bastidor o lienzo que lo sustenta. Incluso en otros casos, se prescinde totalmente del bastidor, haciendo que la propia pintura además de ser la materia cubriente, se convierta en el único soporte que sustenta la obra.

En estas obras, la pintura no funciona sólo como medio plástico, sino como esencia. Por esto, Costa nos ofrece una nueva manera de observar, visualizar y pensar la pintura, invitándonos a reflexionar en qué consiste y en qué puede convertirse.

Figura 108. Eduardo Costa, *Soft orange painting,* 2008-09, pintura acrílica sólida, 65 x 61 x 2,5cm
Fuente: abstractioninaction.com

Figura 109. Eduardo Costa, *Black matte & glossy painting*, 2009-10, pintura acrílica sólida, 62 x 46 x 3 cm
Fuente: abstractioninaction.com

Cuando hablamos de “pintura”, podemos diferenciar dos sentidos de la misma: por un lado, el de sustancia química a través de la cual poder cubrir una superficie determinada; y por otro lado, el de obra pictórica bidimensional finalizada. Dicho esto, podríamos afirmar que los monocromos de Costa se encuentran en un punto intermedio entre estos dos sentidos, ya que es pintura lo que utiliza, pero al solidificarse nos estaría hablando de un nuevo estado semi-líquido incluido en obra finalizada que rompe las reglas de lo bidimensional. Precisamente esta intención de seguir pensando en pintura pero en los límites de lo que asumimos como soporte pictórico, es lo que nos ha interesado de este autor. En estos casos, el material es, cubriente y soporte a la vez, idea que en nuestra propuesta personal hemos canalizado mediante materiales como el PVC y su acumulación en laminados de calandra.

3.1.8 Bernard Frize (Francia, 1940)

Figura 110. Retrato de Bernard Frize

El francés Bernard Frize, es uno de los artistas más aclamados por su particular estilo, que precisamente se encuentra lejos de buscar cualquier pretensión estética. Para él, el resultado de la obra final no es lo más importante sino el proceso de realización de la misma.

Figura 111. Bernard Frize, *Limpa*, 2009, acrílico y resina sobre lienzo, 160x141cm
Fuente: http://www.artnet.com/

Con la utilización del pincel o pinceles, realiza una gran variedad de giros y movimientos de muñeca, en ocasiones con dos o tres trazos mínimos, con los que recorre toda la superficie pictórica mediante líneas y franjas de múltiples colores.

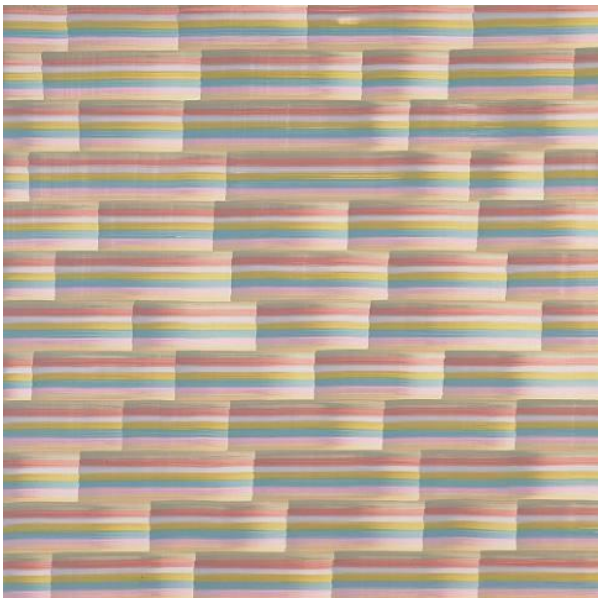


Figura 112. Bernard Frize, *Frigan*, 2008, acrílico y resina sobre lienzo, 185x185cm
Fuente: http://www.artnet.com/

Sobre estos recorridos de pintura, Frize aplica barnices y resinas que le dan un acabado más suave e industrial a la obra. Al contrario que la inmensa mayoría de los pintores contemporáneos, este autor huye de los aspectos más conceptuales de la pintura, quedándose en la superficie, entendiendo a la pintura como una representación autosuficiente por sí mismas. Lo que le interesa es la reflexión acerca del material, el recorrido de la pintura, en muchas ocasiones pura, por toda la superficie de la obra y la ambición por encontrar una respuesta ante las leyes del azar.

Precisamente, esas leyes internas impuestas por el propio proceso pictórico son cuestiones que hemos deseado incorporar a nuestra propia obra. Del mismo modo, también nos hemos mostrado atentos a la inventiva que conllevan los propios procesos pictóricos, y el desarrollo de instrumentos y herramientas específicos que permiten resolver problemas. Las distintas pruebas y ensayos realizados con las fresadoras, los accidentes en los que a mitad de fresado o de impresión en 3d, se paraba la máquina, nos llevaba a formas nuevas que no teníamos contempladas. De este modo, y a pesar de estar partiendo de procesos altamente previsibles, debido al duro trabajo previo de simulación digital, siempre nos hemos mostrado atentos a lo imprevisible, dado que en muchas ocasiones contemplar esos "imprevistos" ayuda a mejorar la idea inicial.

3.1.9 Ian Davenport (Londres, 1966)

Figura 113. Retrato de Ian Davenport
Fuente: www.timeout.com

Este artista Londinense, comparte con Bernard Frize la importancia del proceso y del recorrido de la pintura en el soporte. Su obra consiste básicamente en verter pintura para el hogar brillante sobre paneles de aluminio o MDF (*Medium DensityFibreboard* / tablero de fibra de densidad media) que luego voltea e inclina para mover la pintura a través y fuera de la superficie. Todo este amasijo de líneas brillantes, sin duda tiene un atractivo inmediato, pero también es más complejo de lo que su explicación básica sugiere.

Figura 114. Ian Davenport, *Puddle Painting: Magenta, Green, Violet, Green*, 2008, acrílico sobre aluminio, 200x200cm
Fuente: http://www.artnet.com/

La gravedad juega un papel importante en su obra, cuando comenzó a verter pintura y observar como goteaba, se dio cuenta de que estaba intrigado por el comportamiento de los materiales. Mediante una jeringuilla aplica los colores desde la parte superior, y al licuarse tras el final del recorrido, le pareció interesante añadir esa otra parte para obtener un mayor dinamismo en la obra.

Figura 115. Detalle del proceso mediante jeringa y pintura acrílica muy diluida

En función del grado de inclinación con el que coloque la superficie, las líneas de color aparecerán con mayor o menor grosor. Por eso en muchas ocasiones le parece intrigante el ver que va a suceder porque dependiendo de esto, en algunas ocasiones se crean piscinas de color inesperadas.

Figura 116. Ian Davenport, *Puddle Painting: White/Black/Grey*, 2010, acrílico sobre aluminio, 45.2x38.1cm
Fuente: http://www.artnet.com/

De *Puddle Painting: White / Black / Grey*, nos llama la atención la fuerza del ritmo y la acumulación de líneas, reducidas prácticamente al blanco y negro, algo que como veremos está presente en muchas de nuestras obras como un registro característico. Del mismo modo, la reducción cromática actúa en nuestro caso como una especie de código de barras, donde planteamos una metáfora distorsionada de

la sociedad capitalista en la que vivimos, con su infinita oferta de productos y nuestra insaciable capacidad de consumo.

3.1.10 Jen Stark (Miami, 1983)

Figura 117. Retrato fotográfico de Jen Stark
Fuente: jenstark.com

Jen Stark es una artista cuya materia prima principal es el papel y el color, aunque en la actualidad, en sus últimas obras estamos viendo como explora nuevos materiales como metales, madera, pintura, plásticos, entre ellos el PVC. En su trabajo, destacan esculturas con papeles de colores colocándolas como si de pinturas se tratase, aludiendo al concepto de lo picto-escultórico. Aunque también es habitual verle utilizar lápices de colores y rotuladores a la tinta, para dar paso a ilustraciones e incluso diseños sobre ropa. En cualquier caso, y a pesar de la diversidad de propuestas, siempre tenemos el color, como denominador común y verdadero protagonista.

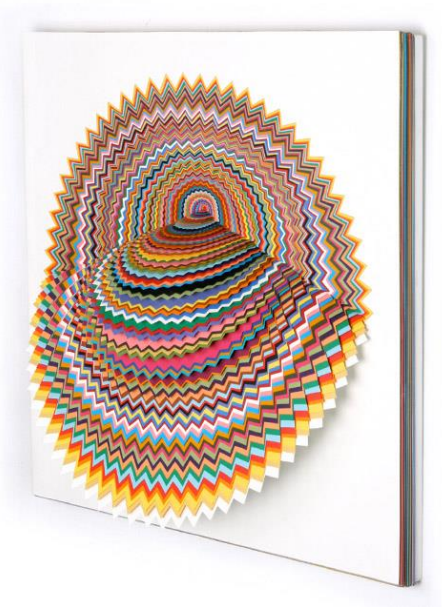


Figura 118. Jen Stark, *Radial Revere*, 2008, papel cortado a mano libre se ácido sobre madera, 51x51x19cm
Fuente: jenstark.com

Esta artista, se ha hecho conocida por sus esculturas de papel de color, que son el resultado de cortes y pliegues, creando ilusiones ópticas. Por lo general, utiliza múltiples colores, aunque en alguna ocasión destaca la monocromía en su trabajo. Siempre parte de fondos neutros como el negro o el blanco para que el color gane importancia y se muestre con gran esplendor. Esta joven artista ha llegado a exponer en innumerables muestras y galerías de EEUU, saltando incluso a Europa para mostrar su arte.

Figura 119. Jen Stark, *Dimension*, 2013, PVC pintura acrílica, barniz y monofilamento, 63,5 x 63,5 x 127 cm
Fuente: jenstark.com

En sus obras destacan patrones lineales y geométricos con colores que por medio de la repetición y el infinito nos crea una percepción a modo de ilusiones ópticas, que son un claro giño a los pioneros del op art, obligando al espectador a generar un doble recorrido que no solo abarca los bordes de las obras, sino que nos adentra en infinitas sensaciones de profundidad. Al contemplar estas obras, es inevitable referenciar los diversos estudios con círculos concéntricos que Marcel Duchamp desarrolló para su film *Anemic Cinema* (1926), y que tan presentes están en algunas animaciones realizadas por Je Stard en colaboración con el músico Eddie Alonso[42]. En cualquier caso, en las recreaciones de la artista norteamericas, de esos antiguos principios de la pintura animada, podemos observar un aire fresco, donde el color invade todo nuestro campo visual. Nos encontramos de nuevo con esa necesidad del artista de expandir la pintura más allá de lo puramente bidimensional. Ejemplo claro de ello es su obra titulada *Inside Out*, realizada en 2014.

Figura 120. Jen Stark*, Inside Out*, 2014, papel libre de ácido, cartón pluma, pegamento, madera, pintura acrílica y barniz, 82 x 45,5 x 45,5 cm
Fuente: jenstark.com

[42] Nos referimos a su animación titulada: *Streaming Gradient*, 2008, disponible en http://www.jenstark.com/animation/

Jen Stark, en una entrevista concedida a Annisha Lashand para la revista *Electrify* Magazine (el 3 de marzo de 2016) afirmó:

> Gran parte de mi trabajo está inspirado en el mundo natural. En la naturaleza, el color es una manera de llamar la atención de alguien - desde una rana venenosa advirtiendo a un depredador con sus vibrantes patrones de color, hasta una fresa madura y roja lista para ser comida. Para mí, el color trae una sensación de admiración y asombro. Siempre he tenido una profunda fascinación por la naturaleza y cómo se relaciona con la ciencia y la espiritualidad.

De este modo, una vez más se pone de manifiesto que a pesar de trabajar con patrones geométricos asociados a la abstracción, la naturaleza con sus colores, con sus formas orgánicas sigue siendo una fuente de inspiración inagotable para el arte contemporáneo. Ya lo hemos podido comprobar en los sinuosos relieves topográficos de Maya Ying, o en lo orgánico de las formas diseñadas por Ball-Nogues, la naturaleza en sus múltiples formas sique atrayéndonos como parte de ella que somos, y por eso también nos sentimos personalmente influenciados por ella en las creaciones que hemos desarrollado en nuestra propuesta personal.

3.2 ARTISTAS DE LAS MÁQUINAS DE IMPRESIÓN 3D: NUEVAS METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

En este segundo bloque, abordaremos algunos de los artistas más actuales dentro del arte digital y contemporáneo, centrándonos en sus aproximaciones a las máquinas de impresión 3D, como recurso productivo y estético. Por otra parte, nos interesa también su modo de relacionar del concepto de construcción, asociado en sus trabajos a la elaboración de obras mediante acumulación de infinidad de capas. Poco a poco, el impacto de la nueva tecnología de impresión en 3D sobre el arte, se está dejando sentir en muestras y exposiciones. Ejemplo de ello, es la reciente exposición inaugurada el pasado 15 de junio de 2017 en el Centro George Pompidou, bajo el título: *Imprimer le monde*. Esta primera gran muestra dedicada en exclusiva a la creación a partir de las impresoras en 3D, nos da una idea de la importancia que comienza a tener este recurso dentro del arte emergente.

Es obvio que esta nueva rama del arte alberga mucho territorio por descubrir, pero de momento, nos centraremos en algunos de los artistas que actualmente

trabajan en esa dirección; que también es la nuestra. A ese respecto cabe mencionar a: Joshua Harker, Nick Ervinck, PiaHinze, Dizingof y Aldo Bakker.

3.2.1 Joshua Harker (Estados Unidos, 1970)

Figura 121. Retrato de Joshua Harker
Fuente: makezine.com

El estadounidense Josua Harker (1970) es un artista con casi 3 décadas de experiencia internacional, con una visión aventurera mediante el empleo de la tecnología 3D de vanguardia. Gracias a su talento con las artes clásicas y a sus conocimientos de la vieja escuela, Harker re-imagina las posibilidades y mantiene una filosofía creativa y analítica equilibrada. Su obra destaca por el desarrollo de conceptos abstractos entre artefactos tangibles y funcionales. Al igual que nosotros, Harker mantiene en sus propuestas la creación de diseños funcionales eficientes, y el empleo de nuevos procesos de fabricación y de aplicación basados en las nuevas tecnologías.

Uno de sus proyectos con más repercusión mediática es la serie *Unmakeable,* la cual destaca por el empleo de diseños técnicamente complejos a modo de “enredo”, acreditándolo como el primero en romper los límites del diseño y el umbral de las distintas posibilidades de producción artística. Su empeño por transformar sus obras, de lo bidimensional a lo tridimensional, culminó tras casi veinte años de investigación y experimentación. En dicho periodo, empleó distintos tipos de softwares, materiales

industriales y sobre todo los avances que poco a poco iban presentando las impresoras 3D.[43]

En la serie *Unmakeable*, Harker comenzó a experimentar y fusionar las artes tradicionales con las nuevas tecnologías. Del mismo modo, la temática de los cráneos en Harker no es nueva, ya en el 2011, desarrolló esta iconografía, con un sentido claramente neobarroco, sus formas recargadas, nos animaron a desarrollar estos asuntos en nuestros propios proyectos personales. Ejemplo de ello la serie de *Cráneos huicholes***,** donde hacemos cubrimientos con chaquiras y pan de oro. Por tanto, compartimos esas ideas de fusión entre la tradición y la tecnología, y por ello al igual que Harker nos interesan las transformaciones de referentes tan potentes y recurrentes de la historia del arte.

Volviendo de nuevo a Harker, y a su serie de pequeños cráneos impresos, podemos señalar que con *Crania Anatomica Filigre*, se convirtió en todo un referente del arte realizado con máquinas en 3D. La obra destaca por el empleo de la "filigrana" asociada al automatismo surrealista. Mediante esta técnica representacional, el autor invita al espectador a descubrir sus formas a través del proceso de impresión, al tiempo que explora como por medio de éstas máquinas, es viable transformar patrones previamente diseñados en 2D pasándolos a un nuevo espacio creativo de geometrías en 3D.[44]

Figura 122. Josua Harker, *Crania Anatomica Filigre*, 2011, impresión 3D mediante SLS con poliamida/nylon, 6,7 x 8,8 x 8,9 cm.
Fuente: www.joshharker.com

[43] Véase: www.joshharker.com/about/
[44] Véase: http://www.joshharker.com/crania-anatomica-filigre/

Sus cráneos evolucionan por medio de la práctica surrealista del automatismo, desarrollando caracteres como el equilibrio, es estudio de la composición y los diferentes tipo de acabado posibles tras la impresión. Este autor también comparte con nosotros su forma de trabajo y de enfocar las impresoras 3D como un recurso viable para la apertura de una nueva fase de post-procesos, para no quedar en la impresión puramente material. Por otro lado también ha usado softwares de modelaje como ZBrush y Solidworks, gracias a los cuales se sirve para incluir formas que encontramos en el sector de la mecánica, como engranajes complejos, embragues, cronometraje, levas, etc.

Con *Crania Anatomica Filigre: Binary***,** fue la primera integración completa de ese aspecto cinético en su obra escultórica, mostrando la evolución en su trabajo (Eric Weinhoffer, 2017).

Figura 123. Joshua Harker*, Crania Anatomica Filigre: Binary*, 2011, impresión 3D con poliamida, 14.0 x 19.9 x 15.3 cm.
Fuente: www.joshharker.com

Por último, mostraremos una nueva variación del cráneo inicial, donde a través de un tríptico es posible asumir aspectos de la escultura cinética. Este cráneo puede funcionar por separado, pero al ensamblarlo adquiere otro significado narrativo basado en el desarrollo de la 3 ª Revolución Industrial. Estas nuevas formas de hacer esculturas pueden llegar a entenderse como un modo de libertad y prosperidad procedimental al alcance de la población. El tríptico también fue lanzado a través de

la página de Kickstarter y se convirtió en uno de los proyectos artísticos de impresión 3D con poliamida mejor financiados de todos los tiempos. Como mencionamos con anterioridad, *Anatomica di Revolutis* consta de tres partes:

- *Crania Revolutis:* representa el paso de una era y la renovación de las nuevas técnicas de expresión artísticas.
- *Phoenix Revolutis:* como el propio nombre indica, el fénix se hace presente gracias a las alas que simbolizan su renacimiento, sumado a la idea de fuego que aparece marcada por la estética del cráneo con filigrana que sirvió de punto de unión. Las alas están compuestas de casi 100 piezas mecánicas por separado, que se imprimen en su totalidad como un único conjunto de trabajo.
- *The Crooked Cairn:* adquiere un rol de peso estableciendo un apoyo para el fénix. Esta pieza tiene una forma triangular que simboliza una edificación la cual se encuentra rematada con una corona de tentáculos. El edificio presenta tres caras haciendo referencia al "ojo de la Providencia" con una burla del "no oiga, no hable, no vea el mal" como símbolos de la corrupción. Por último, el peso de esta parte recae en un corazón sustentado por un gancho, haciendo referencia a la promesa incumplida de la máquina de trabajo.

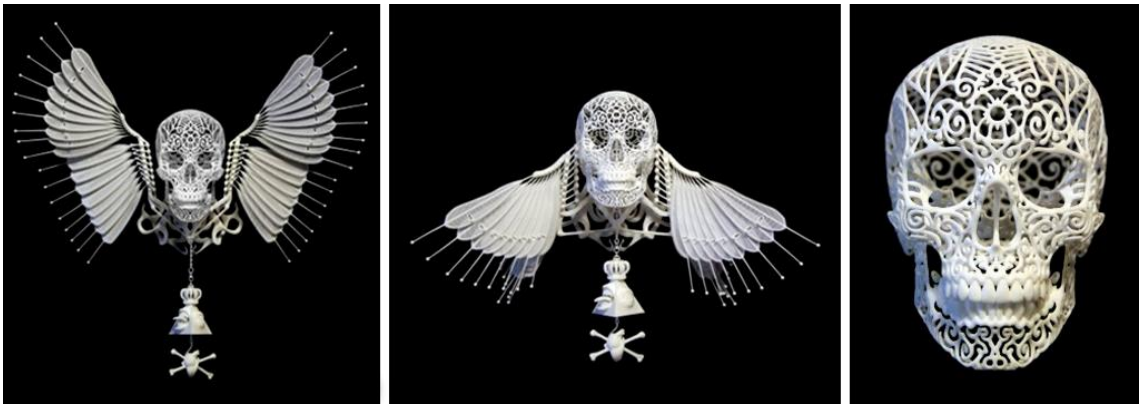


Figura 124. Joshua Harker, *Anatomica di Revoluis* (*Phoenix Revolutis*/47.7 x 34.0 x 8.2 cm, *The Crooked Cairn*/ 5.5 x 6.2 x 12.8 cm, y *Crania Revolutis* / 8.9 x 13.2 x 10.4 cm), 2012, impresión 3D mediante SLS con poliamida/nylon
Fuente: www.joshharker.com

3.2.2 Nick Ervinck (Roeselare, Bélgica, 1981)

Figura 125. Retrato de Nick Ervinck, 2010

El artista belga Nick Ervinck utiliza las herramientas y técnicas de los nuevos medios aplicadas en la arquitectura y el diseño, para explorar el potencial estético de la escultura y de la instalación gracias a sus impresiones 3D. A través de su práctica divergente, vemos como al igual que nosotros se apoya en el concepto de la construcción como medio de invasión en el espacio. Pero Ervinck, no sólo se centra en la creación de un objeto escultórico, sino que también cuestiona su ubicación en el espacio para observar su desarrollo tras la experiencia fenomenológica. Su obra versa entre lo estático y lo dinámico tras la búsqueda de nuevos emplazamientos. Esta idea de crear cierta confusión por medio de piezas de percepción visual, lo encontramos en nuestras obras mecanizas con las máquinas CNC, compartiendo esa idea de generar una ilusión del movimiento a través de picto-esculturas a simple vista estáticas.

Fue en 2005 cuando recibió el premio de Escultura Godecharle, seguido del Premio Mais de la Ciudad de Bruselas y el Premio de Arte Visual de Flandes Occidental en 2006. En 2008, Ervinck fue galardonado con el Premio de Fondos Rodenbach y también ganó el premio de la audiencia para los nuevos medios en la Fundación Liedts-Meesen.[45]

[45] Véase: http://www.nickervinck.com/en/about

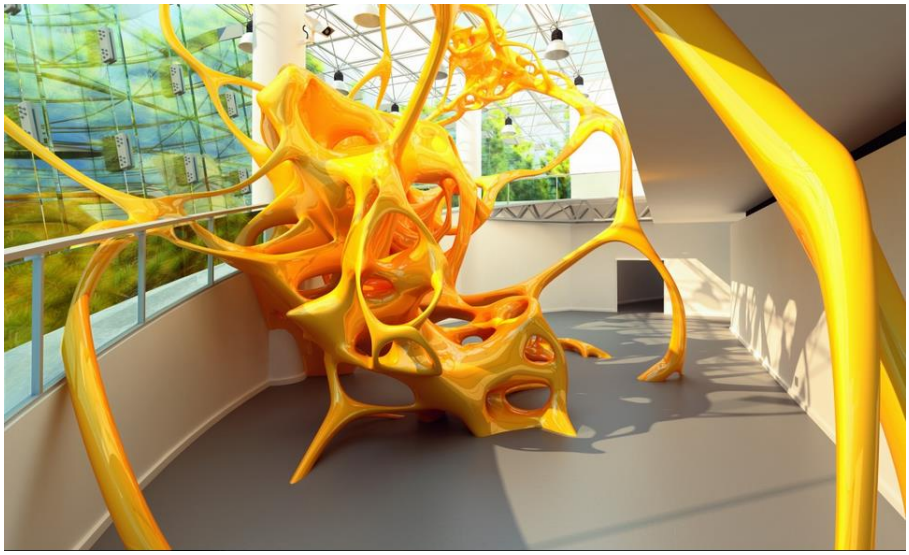


Figura 126. Nick Ervinck, *Korobs*, 2009, impresión montada y cubierta con pexiglás, 125 x 185 cm
Fuente: Studio Nick Ervinck

Una de sus obras que refleja y comparte con nosotros el concepto de picto-escultura al igual que con el muralismo mexicano de Siqueiros, es su impresión sobre la pared *Korobs,* 2009. En ella Ervinck, explora los nexos entre el diseño 3D, la escultura y la arquitectura, rompiendo los límites del espacio virtual a través del gran formato derivado de la impresión 3D. Con esta técnica, el autor crea volumenes orgánicos y fluidos difíciles de imaginar, entrando metafóricamente en juego, ideas como la sustitución del la mano del hombre, en la era de la mecanización total. Otra posible interpretación de esta obra, podrían orientarse hacia la historia del "devenir", adquiriendo una dinámica que nos da la sensación de crecimiento espontáneo, construcción orgánica, colorista que incluso hazarosa, que tiende a expandirse como una sustancia viva. A ese respecto Helen Sabbe (2016) afirma:

> Sus creaciones abstractas como aliens son el resultado de una fusión de las raíces sustantivas con las nuevas tecnologías y la continua investigación y purificación de la línea y la forma. El artista dibuja elementos de un gran arsenal visual y los mezcla para inventar nuevas formas. Las esculturas poseen valores estéticos dentro de su propia dinámica y su libertad. Ellas ofrecen una mirada divertida a quienes somos (p.2).

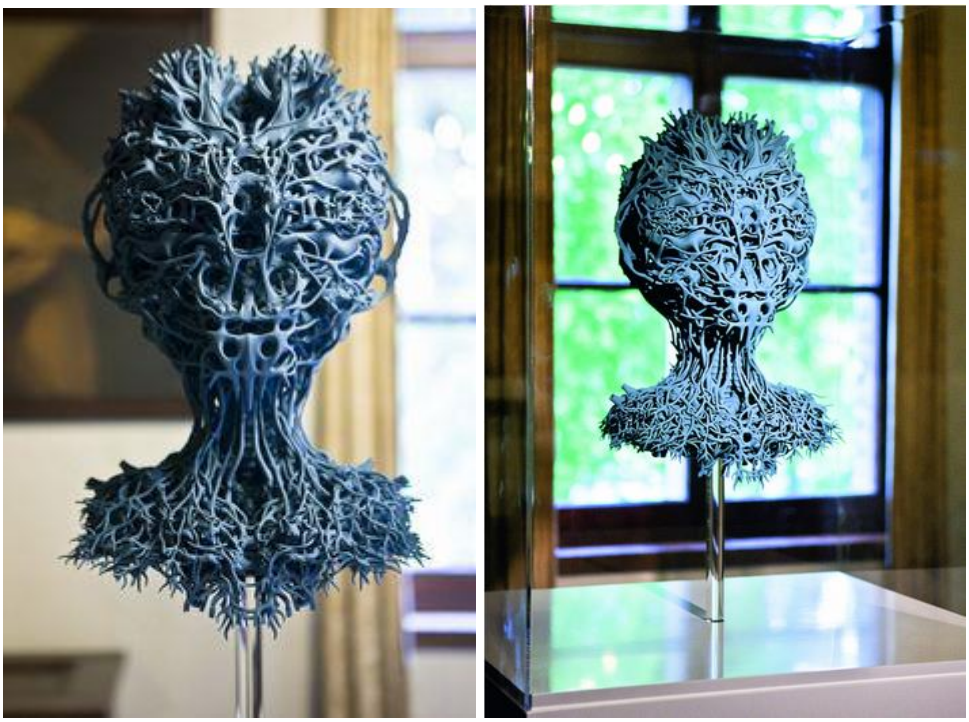


Figura 127. Nick Ervinck*, Agrieborz*, 2009-2010, impresión 3D, 53 x 34 x 33 cm
Fuente: cuirator.com

La recreación de los órganos humanos, también tiene un hueco en el imaginario iconográfico del artista. Ejemplo de ello es su obra titulada: *Agrieborz*, 2009-2010, en la que usó esos simulacros de órganos humanos como nuevos materiales de construcción escultórica. Pero en su conjunto la obra también nos produce inquietud debido a la conexión visual que establece entro lo orgánico y lo artificial, lo tecnológico y lo humano. Sin embargo, este recurso de lo orgánico carece de estructura coherente, parece estar flotando en un mundo virtual. Efectos digitales, que salvando las distancias nos traen a la memoria las obras de la *Serie Monstruos*, 2011 de la artista española Marina Núñez. Ambos tienen en común, la referencia a la tecnología digital de nuestro tiempo, en el primero es la impresión en 3D, en el caso de Marina se trata de infografía. Los dos, emplean ese universo artificial, para hablarnos de la biogenética en la configuración contemporánea de identidades metamórficas. Su vínculo con las máquinas reflejan su inspiración en una figura emergente como la del ciborg, mitad máquina, mitas humano. Para Ervinck, una obra como *Agrieborz* no sólo enmarca la disolución de fronteras entre la tecnología y lo humano, sino que también juega con la intrigante posibilidad de replicar el tejido vivo como nuevo material tecnológico (Studio Nick Ervinck, 2017).

Figura 128. Nick Ervinck*, Cirbuats,* 2011-2013, poliéster y fibra de vidrio sobre espuma de poliuretano, 1500 x 800 x 800 cm
Fuente: Studio Nick Ervinck

Pero las obras de este autor, también pueden llegar a ser de carácter monumental, tal y como ocurre en su intervención arquitectónica titulada Cirbuats, 2011-2013. Tanto el color brillante y amarillo, como las formas orgánicas, generan un contraste con el edifico Zebrastraat, al que está literalmente acoplada. Esta nueva y divertida concepción escultórica del espacio arquitectónico, permite albergar en su interior, espacios de lo más variopinto, tales como: galerías de arte, apartamentos, salones, etc. Nick fue propuesto para realizar una intervención en esa parte desprovista de cualquier elemento decorativo o funcional y se le ocurrió la idea de taparla por medio de una gran escultura en la que en su interior hubiera un emplazamiento oculto. Sus formas de color amarillo coinciden con una instalación anterior creada por el artista que se encuentra en otro lado del edificio, volviendo a emplear las formas orgánicas en contraposición de la rigidez arquitectónica del edificio. La estructura se ensambló a partir de siete partes cuya base principal era la espuma de poliuretano, que fue esculpida a mano partiendo de los parámetros prediseñados digitalmente. Por último, para darle un acabado a la parte externa de la

fachada, se empleó una capa de fibra de vidrio y poliéster pintado generando así con contraste entre el color primario y la neutralidad cromática del edificio.[46]

3.2.3 Pia Hinze (Alemania)

Figura 129. Retrato de Pia Hinze

La impresión 3D se está convirtiendo en una nueva técnica que también está dinamizando campos como el de la moda. Una de sus mayores exponentes es Pia Hinze, que realizó sus estudios en diseño de moda en la Institución de moda Esmod en Múnich, Alemania; para después graduarse en la misma sede de Esmod, pero en Lyon, que es la escuela de moda más antigua de Francia. Realizó sus prácticas profesionales en Trend Union París, y actualmente estudia arte y multimedia en LMU Munich. Dentro de sus estudios de postgrado ha investigado con el desarrollo de vestidos temáticamente vinculados al arte barroco y técnicamente resueltos con las nuevas tecnologías de impresión 3D. En gran medida, sus propuestas, nos han servido de referente, dado que a nosotros también nos interesa esa fusión de universos temáticos.

[46]Véase: https://www.dezeen.com/2013/08/09/cirbaots-sculpture-by-nick-ervinck/

Figura 130. Pia Hinze, colección *Néobaroque*, 2013, vestido impreso en PLA flexible
Fuente: hinzepia.wixsite.com

Gracias a la impresión en 3D, Hinze rompe con la realización de prendas de moda tradicional en la que se emplea la costura como único medio de unir los patrones. La utilización de esta nueva tecnología, le permite realizar prendas, a la medida del individuo de una forma personalizada y lo más llamativo, siendo de una única pieza. Su colección *Néobaroque* cuenta con una serie de hermosas piezas realizadas con una amplia variedad de materiales como el cuero, la gamuza e impresión 3D, destacando una paleta de colores como el oro y el beige. La parte más llamativa de esas prendas nos recuerda a las hojas de acanto empleadas como motivo decorativo en la práctica artística de la talla en piedra o madera, encontrándose envueltas sobre una superficie minimalista desnuda. Esta parte delantera del vestido se imprimió en 8 partes diferentes para después ensamblarlas y doradas, culminándose el proceso en más de 40 horas. Para crear el diseño impreso en 3D, Hinze colaboró con la empresa 3D ACTIVATION.[47]

[47] Para más información : www.3d-activation.de

Figura 131. Pia Henze, colección *Néobaroque*, 2013, vestido impreso en PLA flexible
Fuente: hinzepia.wixsite.com

Las ideas barrocas en las que se inspira la artista son un vehículo perfecto para llevar la tecnología del modelaje en 3D puramente digital, a la impresión real para al disfrute de lo palpable y lo material. La belleza de este vestido dorado impreso en 3D supera fácilmente la brecha entre la tecnología, el arte y la moda.
Al hablar de sus diseños, Hinze refleja:

> Inspirada por las posibilidades sin fin de la impresión 3D y la opulencia de la arquitectura barroca diseñé el corazón de la colección, un vestido impreso totalmente en 3D. Me encanta la estética del pasado, pero no quería crear algo pasado de moda. Cuando oí por primera vez acerca de la impresión 3D estaba tan impresionada, que leí todo lo que podía encontrar al respecto. Cuando decidí realizar una pieza impresa en 3D para mi colección, me abrumaron todas las posibilidades. Si se trabaja con telas, es realmente difícil crear formas orgánicas como adornos. Pero con la impresión 3D el cielo es el límite... Después de la impresión y encolado pinté todo el vestido de oro para subrayar el espíritu barroco. Fue una experiencia emocionante trabajar con la impresión en 3D para combinar el arte, la moda y la tecnología (Perepelkin, Paulina, 2013).

3.2.4 Dizingof- Asher Nahmias (Tel Aviv, Israel)

Figura 132. Retrato de Asher Nahnias.
Fuente: http://www.fashionreview.com.au

Dizingof comenzó su recorrido por el campo artístico alrededor del 2009 y hoy en día está catalogado como uno de los mejores diseñadores 3d de la actualidad. Su estilo se centra en la creación de una malla para poder manipular la superficie y se decanta por el empleo de materiales de acero inoxidable y el bronce, ya que él los considera plásticamente atractivos, fuertes y de gran durabilidad. Todo diseñador 3D siempre parte de un modelo digital para su creación con materiales reales, pero lo interesante surge en cuanto al tratamiento que se le aplica después a esa impresión para romper de este modo con ese carácter serial y estrechamente industrial.

Actualmente mantiene una plataforma web (https://www.thingiverse.com) donde sube diseños originales el cual tiene una cifra total de 27,000 descargas gratuitas.

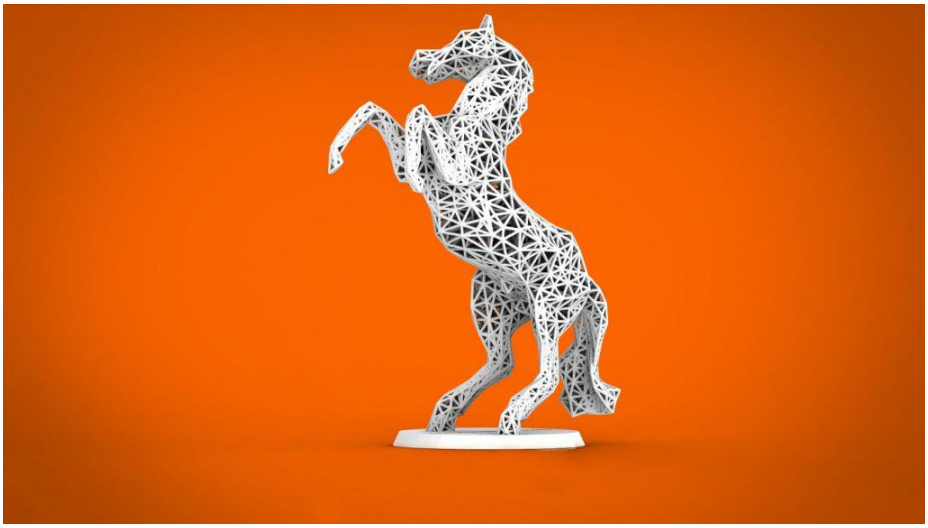


Figura 133. Dizingof, *Tetra Horse*, 2013, modelo 3D renderizado
Fuente: 3dizingof.com

Tetra Horse, realizada en 2013, es una de sus primeras obras realizadas con técnicas de diseño de modelo 3D, mediante malla volumétrica triangular. Para ello, conserva la superficie externa del modelo intacto y construye dentro de las estructuras de soporte a modo de triángulos. Como podemos observar en esta particular técnica, el propio cuerpo del modelo 3D actúa como estructura de soporte y en términos de prototipado rápido y rentabilidad, podría ser interesante para la realización de estructuras que requieran o tengan que soportar pesos, empleando el mínimo material posible.

Pero lo que más influencia ha tenido sobre nuestro trabajo, es el modelaje y la impresión 3D de sus cráneos, donde utiliza una gran variedad de de colores y recursos, como el material de impresión PLA.

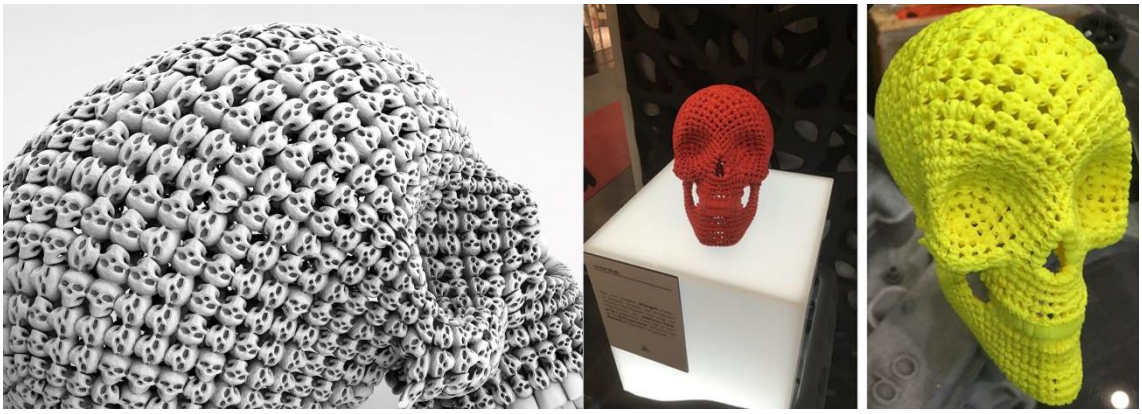


Figura 134. Dizingof, *Lord of the skulls,* 2014, modelo 3D renderizado e impresión real, 150x90x105mm
Fuente: 3dizingof.com

La idea de construcción se hace presente por medio de la repetición y la multiplicación, elementos distintivos de sus cráneos y que están disponibles en la web para descargarlos en formato STL. Estas obras tienen un gran vínculo con el artista anteriormente citado Joshua Harker puesto que comparte el tema del cráneo y el método de impresión 3D. En cualquier caso, el trabajo de Dizingof es conceptualmente más fácil de asociar a nuestra propia producción por acumulación de planchas de PVC espumado.

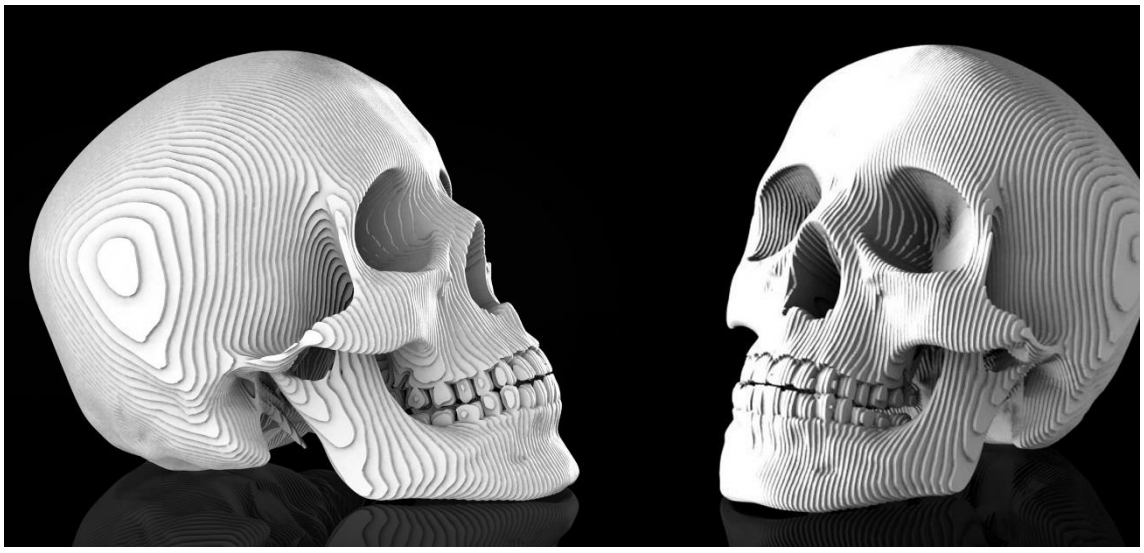


Figura 135. Dizingof, *Sliced skull,* 2016, modelo 3D renderizado, 129x108x152mm
Fuente: 3dizingof.com

3.2.5 Exposición *Imprimer le monde*

Aldo Bakker (Holanda, 1971)

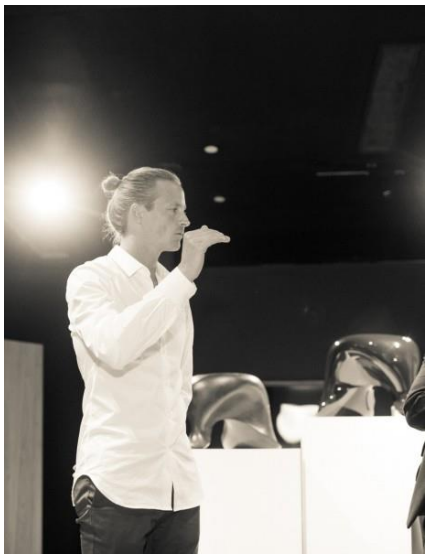


Figura 136. Retrato de Aldo Bakker, 2014
Fuente: aldobakker.com

Con motivo de la exposición *Imprimer le monde* del 15 de marzo al 19 de junio de 2017, las Ediciones HYX y las Ediciones del Centro Pompidou (París, Francia), han elaborado una interesante publicación sobre la emergente creación artística generada con la ayuda de máquinas de impresión en 3D.[48]

Las tecnologías numéricas han alterado la concepción y la fabricación de objetos, transformando la práctica de arquitectos, diseñadores y artistas, para cuestionar el papel que hoy en día desempeña el autor en la producción de objetos. De este modo, las impresiones en 3D, los objetos de prototipado rápido, y las obras de arte, son catalogadas como “tencologías disruptivas”. La impresión 3D lleva relativamente poco tiempo como nuevo método de producción de piezas, aunque en los últimos quince años, su popularidad ha crecido sustancialmente gracias al acceso gratuito a softwares de código abierto.

[48] Es destacable mencionar que de forma continuada a esta muestra en la que la impresión 3D se convierte en la herramienta principal para la creación artística, en el Espacio Fundación Telefónica de Madrid se está realizando una exposición titulada *3D. Imprimir el mundo,* que se inauguró el pasado 15 de junio y permanecerá abierta hasta el 22 de octubre de 2017. En ella podemos observar cuestiones abordadas en la presente tesis como el impacto que ha tenido esta tecnología en campos tan variados como el de la medicina, la arquitectura, la gastronomía, la moda o el arte. Esta muestra está compuesta por casi 100 obras pertenecientes a 87 artistas, entre los cuales podemos destacar a Nick Ervinck, que citamos con anterioridad en este capítulo. Pero por otro lado, esta exposición está organizada por cuatro grandes bloques temáticos que comparten nuestra forma de exponer contenidos como la definición de la impresión 3D, los tipos de impresión, los nuevos materiales que podemos emplear y su gran variedad, las ventajas que nos ofrecen respecto a los métodos tradicionales y su evolución en la actualidad, entre otros aspectos.

El origen de la impresión 3D se remonta a la foto-escultura (inventada por François Willème alrededor de 1860) el cual da paso a la captación fotográfica tridimensional así como las cartas topográficas en relieve de Joseph E. Blanther a finales del siglo XIX.

Con la llegada de la informática y las máquinas de control numérico computarizado abren un nuevo espacio numérico creativo. Surgen de esta forma figuras como “hackers” y “makers” desarrollan una economía colaborativa donde el artesano y las nuevas tecnologías comienzan a trabajar de la mano. Fue en 1980, cuando se imprimió la primera pieza mediante un proceso por adhesión denominado estereolitografía (SLA). Hoy en día, se hace necesario el conocimiento de este lenguaje creativo tanto para arquitectos como diseñadores o artistas.

Esta exposición reúne una joven generación de artistas, diseñadores y arquitectos que han utilizado la impresión en 3D como herramienta de experimentación. A través de la selección de una treintena de creadores, *Imprimer le monde,* nos enseña todo un universo generado a partir de las nuevas tecnologías que muestran su “materialidad digital” utilizando como punto de partida la impresión en 3D.

Dentro de los artistas, diseñadores y arquitectos presentados en la exposición, nos centraremos en Aldo Bakker, nacido en Holanda en 1971. Casi todos sus diseños destacan por desafiar los límites del tiempo, la moda o el espíritu de la época, dándonos qué pensar acerca de su propósito expresivo. Las líneas predominantes en sus diseños parten siempre de formas simples que encontramos en nuestro entorno cotidiano como la curva de una escalera o la fachada de una casa, investigando sus formas para poder transformarlas.

Sus obras son el resultado de la destrucción y construcción, pareciendo crear objetos que no encuentran su funcionalidad haciéndolos intrigantes para el espectador ya que a simple vista dan la sensación de parecer objetos ordinarios. En este sentido, Bakker busca interactuar con el usuario empleando sus creaciones de una forma diferente, creándonos tentaciones por medio de sus formas sugerentes y los materiales atractivos.

Figura 137. Aldo Bakker, *Artefact*, 2014, porcelana (negro y blanco), 244 x 109 x 124 mm
Fuente: aldobakker.com

Estos diseños, creados en su mayor parte de una sola pieza (cerámica, vidrio, madera, cobre, etc.), aparecen como formas orgánicas y amigables, y no como una escultura fría y estática. El acabado en oro, al igual que la contraposición entre lo aparénteme blando y lo sólido, son recursos de este autor que hemos acabado por asumir para nosotros. Su relativa funcionalidad conduce a una dramatización de los gestos humanos más habituales, como la deformación del objeto logrando sensaciones inesperadas y teatrales.[49]

Figura 138. Aldo Bakker, *Pivot*, 2014, plata fina chapada en oro, 95x82x146mm
Fuente: aldobakker.com

[49] Véase: http://www.cid-grand-hornu.be/en/expositions/Aldo_Bakker__Pause/127/

CAPÍTULO 4

PROPUESTA ARTÍSTICA A PARTIR DE PROCEDIMIENTOS MECÁNICOS DE FRESADO MEDIANTE CNC

4.1 INTRODUCCIÓN

> Simultáneamente a las esculturas con metal y vidrio, me volví hacia los nuevos materiales industriales. Comencé a pintar sobre aluminio, aleaciones no ferrosas muy pulidas y sobre termoplásticos. Si no hubiera albergado el temor de que estos últimos materiales quizá no fueran duraderos, jamás habría vuelto a pintar sobre lienzo.
> Al trabajar con estos materiales -plásticos coloreados, opacos o transparentes- realicé descubrimientos que contribuyeron a que cambiara mi técnica pictórica. Esto tuvo repercusiones inevitables en mis reflexiones acerca de los problemas de la luz.
> Aunque los plásticos son materiales nuevos, apenas ensayados, tenía la sensación de que se debería trabajar con ellos, a pesar del peligro de los efectos meramente bonitos. Quizá nos lleve décadas llegar a conocer realmente estos materiales y poder desarrollar una auténtica técnica con que manejarlos. Incluso los problemas técnicos de la pintura sobre estos nuevos materiales están todavía por resolver.[50] (Moholy-Nagy, 1997, p.134).

Nuestro énfasis por avanzar en la búsqueda de nuevos procedimientos y materiales alternativos en el arte nos anima a plantearnos una forma novedosa y singular de entender la pintura expandida. La utilización del policloruro de vinilo o PVC como material picto-escultórico tiene como referente inicial nuestra cercanía a la industria del mueble de contrachapado, ya que desde nuestra infancia nos fuimos familiarizando con todo tipo de materiales y procesos que hoy tienen una clara correspondencia con nuestro trabajo. Pero esta coartada funcional del mueble trabajado mediante laminado o el contrachapado más artesanal nos sirvió como apoyo visual para enfocarlo en nuevas creaciones desvinculándolo de este uso tradicional de la marquetería.

Trabajar con los distintos tipos de PVC existentes en el mercado será todo un reto, que nos permitirá introducirnos en infinidad de universos, que introducen elementos de la cartografía y sus relieves topográficos, hasta la plena identificación de la pintura y escultura.

En este capítulo, el soporte y la materia pictórica se mimetizan de tal forma que acaban convirtiéndose en la misma cosa. Para este reto nos apoyamos en softwares

[50]MOHOLY-NAGY, Lazlo: La nueva visión: Reseña de un artista. Infinito, Buenos Aires, 1997, p. 134

que trabajan en 3D como Rhinoceros. Este será nuestro sistema de bocetaje partiendo siempre de un volumen simulando la pieza real o “softwares adaptables”, a las máquinas de control numérico computerizado o CNC.

4.2 EL PVC DE CALANDRA COMO MATERIAL: CARACTERÍSTICAS, USOS Y APLICACIONES

4.2.1 ¿Qué es el PVC?

El policloruro de vinilo (combinación química de carbono, hidrógeno y cloro), más conocido como PVC o simplemente como vinilo, es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo, cuya fabricación se realiza a partir del cloro y etileno. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. Constituido en un 57% por cloro, obtenido de la sal común, y sólo en 43% por etileno, derivado del petróleo o gas, el PVC es el plástico menos dependiente del consumo de recursos naturales no renovables, siendo únicamente un 4% del consumo total de estos recursos, el que se utilice para fabricar materiales plásticos, y de ellos, solamente una octava parte correspondería a la fabricación de PVC (ANIQ, 2015).

Además de su gran versatilidad y utilización en diversos campos, el PVC es la resina sintética más compleja y delicada de formular y procesar, ya que requiere de una gran cantidad de ingredientes y un balance adecuado de estos para poder transformarlo al producto final deseado, convirtiéndolo en un material ligero y químicamente inocuo e inerte. En 1926, el Dr. Waldo Semon, investigador en B.F. Goodrich Company en Ohio, (EE. UU) descubre que el PVC absorbe plastificante y que al procesarse se transforma en un producto flexible, es decir, que es un material termoplástico el cual bajo la acción del calor (140-205ºC) se blandea, pudiendo manipularlo con total libertad. Lo mejor de este proceso es que cuando el PVC vuelve a su temperatura inicial, recupera su consistencia adoptando la nueva forma. Este descubrimiento hizo posible el desarrollo comercial inicial por su buena relación calidad-precio y su gran versatilidad. Posteriormente, mediante la utilización de estabilizadores más adecuados se produjo el desarrollo en el mercado del PVC rígido;

estos dos importantes desarrollos permitieron que el PVC se convirtiera en el termoplástico más versátil e importante del mercado mundial (ANIQ, 2015).

Durante los últimos setenta años, su uso se ha multiplicado para la fabricación de productos de los diversos sectores e industrias, sirviendo de pilar fundamental para la actividad humana. Los productos de PVC están presentes hoy en cualquier hogar o negocio, en campos tan disímiles como la construcción e infraestructura, la arquitectura y diseño; la generación y transmisión de energía, el cuidado de la salud, la preservación de alimentos, el transporte y las comunicaciones; el vestuario y el calzado, el mobiliario, los deportes y el entretenimiento, así como en cientos de elementos de uso cotidiano que contribuyen a mejorar la calidad diaria de vida.

La producción mundial de PVC supera actualmente los 36 millones de toneladas, de las cuales alrededor del 70% se destina a aplicaciones con una larga vida útil The Vinyl Institute. (2015).

4.2.2 Origen del PVC

Los antecedentes de la industria del PVC se remontan al año 1835, cuando Justus von Liebig (Alemania) descubrió el cloruro de vinilo al hacer reaccionar el di-cloro-etileno con el potasio en su laboratorio de trabajo habitual.

En 1839 el químico francés Victor Regnault describió la formación de un polvo blanco al polimerizar el cloruro de vinilo líquido mediante su exposición ante la luz solar. Durante 1860 Roald Hoffman (Polonia) publicó un informe sobre la obtención de poli-bromuro de vinilo y en 1872 Eugene Baumann (Alemania) relató cómo se convertía el VCM en una masa sólida blanca no siendo afectada por los disolventes ni por los ácidos. Ya en 1912 Fritz Klatte (Alemania), estableció los principios de la fabricación industrial, y en 1915, polimerizó el cloruro de vinilo mediante el uso de peróxidos orgánicos. Pero el PVC no pasó de ser una curiosidad de laboratorio hasta mediados de los años 20, cuando el estadounidense Waldo Semon, un científico al servicio de B.F. Goodrich, desembocó en este peculiar material, de excepcionales propiedades, mientras estaba buscando un sustituto para el caucho. Tras su descubrimiento, hizo innumerables pruebas hasta conseguir que fuera maleable, comenzando pues, la revolución de este material en cualquier tipo de industria. En 1926, el PVC comenzó a ser producido comercialmente en Alemania. En breve, los primeros productos, como impermeables y cortinas para baño inundaron el mercado.

Las plantas de PVC comenzaron a florecer en los Estados Unidos durante los años 30, y los cables plastificados como asistentes eléctricos se acaban generalizando gracias a la unión de B.F.Goodrich con General Electric. Ya en la década de los cuarenta, el PVC se extendió al sector automovilístico con una de sus grandes aportaciones al sector: las capotas de vinilo. Las aplicaciones de este material se multiplicaron durante y después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los fabricantes de PVC se centraron en el desarrollo de productos de utilidad en la industria militar. Durante los años cincuenta, se inicia una gran producción de PVC a gran escala, en la que varias compañías competían en la fabricación del mismo como la industria de juguetes de PVC, los discos de acetato de vinilo y el uso del PVC para el empaquetamiento de las películas en VHS.

En el período de los años sesenta, gracias a varios intentos para hacer que el vinilo fuese más duradero, pudo introducirse en el sector de la construcción. Ahora el PVC tenía una vida útil más larga, y ofrecía una óptima resistencia climatológica. Las tuberías de PVC reemplazaron a sus predecesoras de asbesto-cemento y pronto comenzaron a transportar agua a millares de industrias y hogares. La extraordinaria evolución del PVC en los últimos cuarenta años se manifiesta en múltiples aplicaciones, incluyendo campos tan delicados como puede ser el cuidado sanitario o la informática. A comienzos del nuevo siglo, los usos del PVC siguen multiplicándose y brindando nuevas soluciones para hacer más fáciles y seguras las actividades humanas (ANIQ, 2015).

4.2.2.1 Características técnicas y propiedades generales del PVC

Para conocer las innumerables características técnicas del PVC como la elasticidad, su alargamiento antes de la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura por impacto, a la tracción, temperatura máxima y mínima de trabajo…entre otras, podremos consultar las tablas referenciales al PVC que aparecen a continuación[51]:

Conductividad térmica

[51] Toda esta información técnica la veremos plasmada con ejemplos reales en los anexos que se encuentran al final de este proyecto, con el fin de que podamos tener una visión de conjunto que facilite su comprensión al lector.

La conductividad térmica de cualquier material es una propiedad física que mide su capacidad para transferir energía calorífica al someterle una temperatura elevada. A mayor conductividad térmica, mejor conductor de calor será ese material, y cuanto menor sea su conductividad, significará que es más aislante. Por tanto, la transferencia de calor será más alta en materiales metálicos como el cobre, que en materiales como polímeros o fibra de vidrio puesto que son aislantes térmicos.

Uno de los sistemas para su medición en materiales aislantes, es mediante un Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG). Los resultados de esta propiedad física se emplean para la simulación de cargas térmicas en edificios, plantas industriales y sistemas que utilicen energía, con el fin de mejorar y optimizar los diseños de sus componentes. Para el cálculo de las cargas térmicas es necesario disponer de valores físicos como: la viscosidad, su capacidad calorífica, densidad y conductividad térmica; para así poder lograr un ahorro de energía (Lira-Cortés, L., González Rodríguez, O. J. y Méndez-Lango, E. 2008).

Coeficiente de dilatación

El coeficiente de dilatación lineal, superficial o cúbica es la proporción que aumenta en longitud, superficie o volumen un cuerpo al incrementarle la temperatura, por efecto del calor. Esta proporción se considera constante ya que varía muy poco en un gran número de diferentes temperaturas. La condición básica de la dilatación es la elasticidad, es decir, hablamos de dilatación cuando un cuerpo aumenta sus dimensiones con el incremento de temperatura, pero las recupera cuando esta baja. Cuando la temperatura alcanza el punto de reblandecimiento carece de sentido hablar de dilatación, en el estricto sentido del término.

Coeficiente de fricción

Hay que tener en cuenta que existe coeficiente de fricción *estático*, que se ocupa de medir el equilibrio o reposo de los cuerpos, y un coeficiente de fricción *dinámico*, el cual se ocupa de las causas ajenas que originan el movimiento del cuerpo.

Dureza de shore

Este procedimiento se basa en la medición de la profundidad de penetración de un cuerpo frente al material a analizar. Cuanto mayor sea la dureza del material analizado, menor será la profundidad de penetración, y mayor la carga de aplicación.

Resistencia al impacto

El PVC posee una excelente resistencia al choque: en efecto, pruebas realizadas en varios perfiles sometidos a diferentes temperaturas, entre los 0 °C y los 20 °C con una energía de impacto de hasta 50 J, han dado resultados extraordinarios. (1J = 10 kg. /cm).

Resistencia a la humedad, agentes biológicos y químicos

El PVC es un material, que prácticamente permanece inalterable frente a la acción de la naturaleza como inclemencias del tiempo, así como a las altas concentraciones de agentes químicos que se encuentran en la mayoría de las zonas urbanas e industriales. No necesita ningún elemento externo para su conservación y basta con aplicarle agua jabonosa para mantenerlo en su estado óptimo.

Aislamiento

Como material termoplástico, el PVC es uno de los materiales que mejor absorbe las ondas y vibraciones emitidas por el ruido, por lo que es un gran aislante acústico. También es un gran aislante térmico, debido a que el coeficiente de conductividad del PVC es muy bajo como observamos en la primera tabla de este apartado y podemos ratificar con los siguientes datos comparativos:

PVC: 0.1 W/mºC
Alumínio: 200 “
Madera: 0.2 a 0.9 “
Cemento: 0.9 a 1.2 “

Comportamiento al fuego

Por su composición química, es un material auto-extinguible y difícilmente inflamable. Para provocar su combustión serían necesarias temperaturas de entre 330 a 400 ºC, y que éstas seas continuas, por lo que o si no se extinguiría; por tanto, estos datos corroboran que el PVC no es un material transmisor del fuego. En España según la norma UNE 53.315, es un material “auto-extinguible”, ya que sería muy difícil que pudiera contribuir a un incendio ni a su propagación.

4.2.2.2 Beneficios y propiedades del PVC

Los resultados obtenidos por los primeros científicos, incentivaron a las industrias a la creación de diversas moléculas sencillas que pudieran enlazarse con otros polímeros. Tras varios intentos dando como resultado el polietileno (PE) o el polipropileno (PP), llegaron a la conclusión de que si reemplazaban en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro el resultado sería el policloruro de vinilo, llamado también PVC. La peculiar naturaleza de este material le permite unirse a una gran variedad de aditivos adaptándose a los requerimientos funcionales de innumerables productos. Así pues, pasaremos a enumerar una breve selección de los beneficios y propiedades que hacen que el PVC sea uno de los polímeros más utilizados en el mundo (Textos Científicos, 2005):

1. Excelente resistencia mecánica al impacto, al aplastamiento y a ambientes agresivos hace que sea una de las claves para su elección en el sector de la construcción y la edificación.
2. Su bajo peso de (1,4 g/cm3), hace que transportación y aplicación sea más llevadera.
3. Gracias a que tiene la capacidad de aislamiento eléctrico, es un buen material para la su utilización en cables. También es un buen aislante térmico y acústico.
4. Baja inflamabilidad natural y gran fortaleza ante la abrasión: no se enciende fácilmente y cesa de arder cuando se retira la fuente de calor. Esta propiedad es debida a que el cloro que forma parte del PVC, no se quema fácilmente ni arde por sí solo.
5. El PVC es estable e inerte, y permite su uso en productos destinados a estar en contacto con sustancias de consumo humano. Se utiliza particularmente donde la higiene es primordial como las bolsas de sangre o catéteres que abundan en los centros sanitarios.
6. Es un material excepcionalmente longevo, los materiales de PVC pueden sobrevivir hasta más de sesenta años, como las tuberías empleadas para el transporte de agua público. Su resistencia a factores climáticos destructivos, como la radiación solar o los ambientes corrosivos, hacen que sea un material indispensable hoy en día.
7. Gracias a la utilización de aditivos como los plastificantes o estabilizantes, el PVC puede transformarse en un material completamente rígido o flexible.
8. Por su impermeabilidad a líquidos y gases, se suele utilizar con abundancia en la fabricación de ventanas, muebles, puertas o sillas. Gracias a esta propiedad, facilita su limpieza a la vez que lo protege de agentes externos.
9. El PVC es un material potencialmente reciclable, y gracias a esto, facilita su reconversión en artículos útiles.
10. Al tener una gran solidez y resistencia, minimiza la acción de hongos, bacterias, roedores e insectos.
11. Una de las ventajas que más ha impulsado a este excelente material es su óptima relación coste/beneficio. Su bajo coste de instalación y prácticamente

su coste nulo de mantenimiento en su vida útil, nos permite un ahorro sustancial.

4.2.2.3 Estructura y polimerización

Estructura

Estructuralmente, el PVC es un polímero vinílico. Es parecido al polietileno, pero a diferencia de éste, por cada dos átomos de carbono, uno de los átomos de hidrógeno está sustituido por un átomo de cloro.

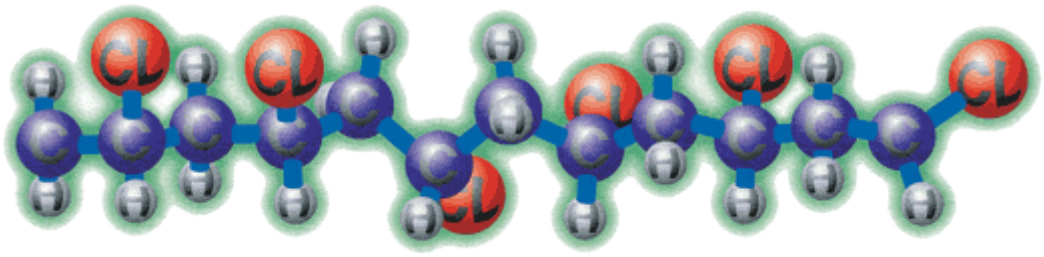


Figura 139. Estructura del PVC

La estructura del policloruro de vinilo o PVC, corresponde a una disposición cabeza-cola, es decir, que los dipolos de las moléculas polares se atraen, siendo menos energéticas y más comunes. Existe evidencia de la ramificación del polímero y esta depende de la temperatura de polimerización y del peso molecular (Ronald J. y Aurelio Beltrán, 1990). El PVC es un polímero amorfo de baja cohesión molecular. Debido al pequeño tamaño del sustituyente puede presentar cierta cristalinidad. Los polímeros comerciales contienen aproximadamente un 5 % de regiones cristalinas, que han sido atribuidas a una estructura sindiotáctica. Este tipo de estructura se caracteriza por la asimetría del grupo X en el proceso de cristalización, alterándose éste de lado a lado. Los polímeros cristalinos poseen algunas ventajas respecto a los *amorfos* como la maleabilidad y la resistencia al impacto, ya mencionadas anteriormente.

Polimerización

El PVC (policloruro de vinilo) está compuesto de los siguientes elementos sencillos: cloro (derivado de la sal común) en un 57 % y etileno (derivado del petróleo) en un 43 %. El compuesto resultante de la fusión entre ambos, es el dicloro-etano, el cual se convierte a altas temperaturas en el gas cloruro de vinilo (CVM).

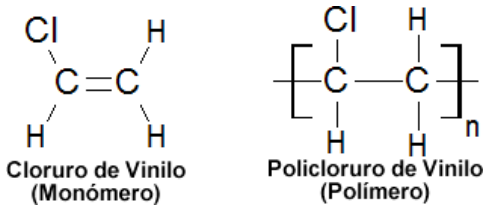


Figura 140. Fórmula del PVC

A través de una reacción química conocida como polimerización, el CVM se transforma en un polvo blanco, fino y químicamente inerte: la resina de PVC. Esta resina, al luego ser aditivada, la convierten en un material versátil y de innumerables acabados y texturas.

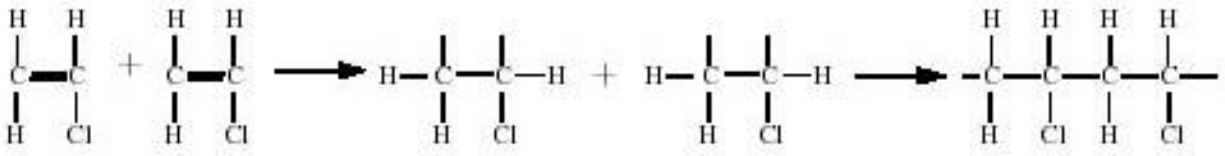


Figura 141. Polimerización

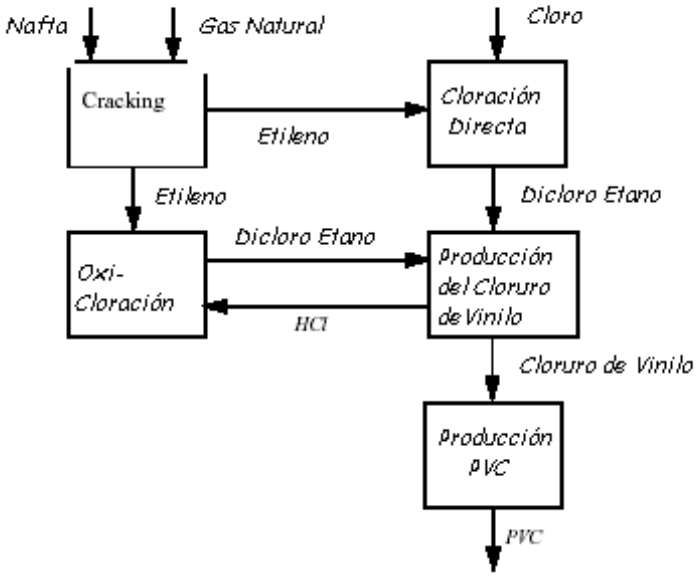


Figura 142. Aditivación

Los métodos de polimerización industrial del policloruro de vinilo los podemos dividir en cuatro procesos:

- **Suspensión:** proceso más importante para la obtención de PVC, ya que el 80% de su producción mundial se obtiene de esta forma.
- **Emulsión:** fue el primer método desarrollado industrialmente. Da lugar a polímeros muy uniformes, con grandes rendimientos en la polimerización y permite obtenerlos en forma de látex, muy aconsejables para su transformación posterior.
- **En Masa**: en la que diferenciamos dos fases diferentes en este proceso; primero la formación de partículas en una fase líquida y luego el crecimiento de las mismas en una fase prácticamente sólida. Las exigencias de agitación en las dos fases son diferentes, cada una debe ser realizada en reactores distintos.
- **En solución**: sólo se utiliza para la obtención de copolímeros muy específicos. (Como su nombre lo sugiere, requiere un solvente orgánico como medio donde se produce la polimerización).

4.2.2.4 Tipos de cantos

En este apartado, vamos a especificar los diferentes ejemplares de PVC de calandra de los que dispone la empresa valenciana Cantisa, dedicada a la venta de recubrimientos para cantos y molduras, y productos de chapa de madera.[52]

PVC de calandra

Se encuentran más de 750 referencias en stock y es posible disponer de diversos espesores de 0.4mm, 0.6mm, 0.8mm, 1mm, 1.2mm, 1.5mm y 2mm.
Su catálogo de productos, contiene una amplia gama de referencias que hemos resumido en el muestrario que adjuntaremos en los anexos. Esta gama, se va ampliando cada día por la aparición de nuevos colores en el mercado. Por otro lado, también pueden crear colores o diseños específicos para cada cliente partiendo de un tablero o textura exigida, mediante producciones mínimas dependiendo del espesor, color y ancho del canto.
El sistema de calandrado consiste en trasformar mediante una máquina específica, el material deseando en una lámina de ese mismo material. Este proceso es habitual en la creación de papel, aunque también se utiliza con algodones, telas y polímeros como el PVC.

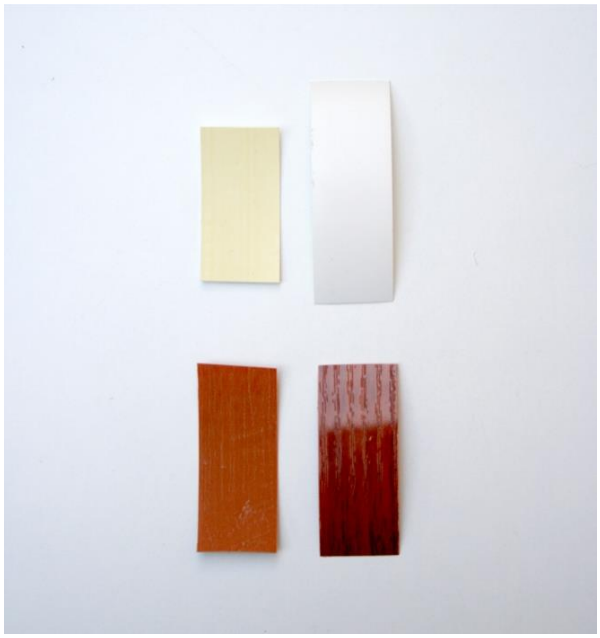


Figura 143. Anverso y reverso PVC calandra
Fuente: elaboración propia

[52] Para más información: http://www.cantisa.es/cantisa.htm

PVC de extrusión

Lo encontramos en espesores de 1mm hasta 3mm, con una gama de stock permanente, en 23x2mm y 23x3mm según el muestrario. Se realizan también producciones reducidas, para colores y dimensiones fuera de muestrario. Aunque a simple vista no genere ninguna diferenciación con respecto al calandrado, compositivamente si la tiene. El proceso de extrusión en el PVC es similar al de cualquier otro tipo de extrusión, y consiste en la creación de una boquilla con la forma deseada por la que tiene que salir el material. Posteriormente se hace pasar el material, independientemente de la forma que tenga para que salga con la forma dada. Este tipo de proceso puede ser tanto en frío, como en caliente o tibio. El PVC en concreto se trabaja en tibio, ya que en caliente se estropean con más facilidad la maquinaria y en frío es más costoso, puesto que se ejerce más presión.

Figura 144. Anverso y reverso PVC extrusión
Fuente: elaboración propia

Melamina

Son cantos sintéticos de papeles impregnados con resinas melamínicas (tricapas, bicapas y monocapas). Hay una amplia gama de diseños disponibles en stock según el muestrario en los acabados y colores que presenten.
Acabados: preencolado y protector. En rollos de 250 metros lineales si son naturales y 125 si son preencolados. Este material dadas las prestaciones que nos proporciona

preferimos descartarlo, ya que no es tan resistente ni maleable como el policloruro de vinilo, aunque en forma aparente sean casi idénticos.

Figura 145. Anverso y reverso melanina
Fuente: elaboración propia

Poliéster

Son papeles impregnados con resinas de poliéster. La flexibilidad, fácil aplicación y su perfecto acabado de superficie caracterizan a estos laminados.
Acabados: preencolado y protector. En rollos de 250 metros lineales si son naturales y 125 si son preencolados.

Figura 146. ABS anverso y reverso
Fuente: elaboración propia

4.2.3 Usos y aplicaciones

Los principales sectores industriales donde se emplea el PVC se distribuyen en bienes de consumo, construcción, packaging, industria eléctrica, agricultura… entre otros. Cabe destacar la importancia del PVC para el sector de la construcción. Este versátil material, poco a poco se ha buscado un hueco en la vida moderna, adoptando un papel fundamental en la atención de necesidades humanas básicas, como el suministro de agua potable y energía, tratamientos médicos y soluciones para las viviendas de toda la población mundial. En este punto se describen los principales usos del PVC y las nuevas aplicaciones que se están presentando hacia el futuro. La inmensa cantidad de formulaciones posibles, convierten al PVC en el más versátil de los plásticos, permitiéndole adaptarse a aplicaciones y requerimientos muy diversos como (Asoven PVC, 2012):

- Tubosistemas: tubos para el suministro de agua potable y su evacuación.
- Elementos arquitectónicos: uso en ventanas, puertas, suelos, láminas impermeabilizadas, persianas…entre otros.

- Membranas para infraestructura civil: laminas para la impermeabilización de balsas, tubos para riego, mangueras, etc.
- Dispositivos eléctricos o electrónicos: revestimiento de cables eléctricos para usos domésticos e industriales.
- Partes de automotores: juntas de ventanas, paneles de puertas, tapicerías, etc.
- Dispositivos de uso médico: tubos y bolsas para suero, guantes quirúrgicos, etc.
- Embalaje y Envases: se observa en productos alimentarios como botellas de agua, zumo, aceites…, en tarrinas y diferentes envases.
- Calzado y vestuario: bolsos, maletas, zapatos, botas de agua, sandalias, etc.
- Muebles: muebles de jardín y exteriores, muebles para casa, habitación y oficina.
- Juguetes: muñecos, pelotas, artículos hinchables, etc.
- Artes Gráficas: uso para la fabricación de carpetas, forros para libros, etc.

4.3 EL PVC DE CALANDRA Y SUS USOS CONTEMPORÁNEOS

En la actualidad, el sector inmobiliario está obligado a un desarrollo continuo de nuevos elementos con el objetivo de subsistir y mejorar sus ventas frente a las demás competencias. La base principal de la innovación de los productos consiste fundamentalmente en presentar nuevas funcionalidades y alcanzar una línea estética diferente a lo ya establecido. Sin embargo, para alcanzar esto, se necesita elaborar una amplia investigación de lo último que se está vendiendo en el mercado, para asemejarse a esa línea de trabajo, dentro de la disponibilidad que tenga esa empresa tanto en maquinaria como en materiales.

Lo primordial para el desarrollo de nuevos productos en este sector son: el respeto hacia el medio ambiente, un proceso en el que el nuevo material empleado reestructure el producto acabado y por último una tecnificación del mismo. Dicho esto, observamos que el PVC de calandra se adecua a estos parámetros, por lo que es un material con amplias posibilidades de supervivencia en este sector. La tecnología de vanguardia que ofrece este material, le permite ofrecer un amplio abanico de los más avanzados sistemas de acondicionamiento y con la garantía de su gran durabilidad.

A continuación, se recogen diversas tendencias de la utilización del PVC en este sector:

Clóset de PVC

Actualmente los lugares de los clósets han ido ganando importancia a la hora del diseño interior del hogar. Las formas de los armarios hoy en día, son muy variables al igual que el material de su fabricación, pero lo primordial para las necesidades humanas es: la comodidad y la espacialidad.

Figura 147. Clóset de PVC laminado color wengué
Fuente: selectopvc.com

Cocina de PVC

La cocina es una de las partes del hogar más peligrosas por los vapores y gases, y por esta razón, los muebles sufren más aquí que en cualquier otra parte de la casa. Por consiguiente, las industrias han generado productos con acabados laminados o poli-laminados, ya que dan menos problemas que la madera por su continuo movimiento.

Figura 148. Cocina de PVC con alacena vertical, puertas con persiana y cubierta de formica
Fuente: selectopvc.com

Plafón de PVC

La amplia gama de este material, le permite dar un toque de elegancia y distinción a cualquier ambiente. El diseño de este sistema, le permite una fácil manipulación de las lamas a la hora de cualquier incidente o reparación. Este tipo de techo, es ideal para ambientes húmedos.

Figura 149. Plafón de PVC marrón
Fuente: selectopvc.com

Puertas plegables PVC

Las puertas plegables de PVC son ideales si la falta de espacio es nuestro problema. La ventaja de este sistema es que no implica una pérdida de espacio frente a la apertura de la misma. La amplia gama de colores y acabados imitando a maderas y texturas, le permite su instalación en cualquier lugar.

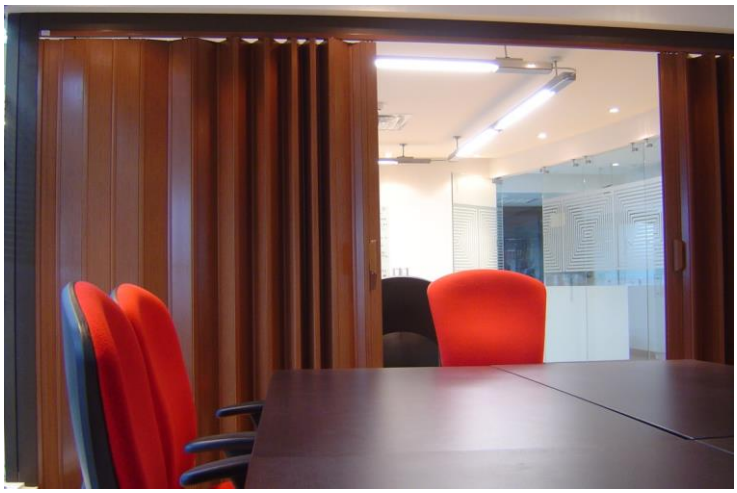


Figura 150. Puerta plegable de PVC
Fuente: acabados138.com

Persianas de PVC

Son un complemento perfecto para las ventanas. Gracias a su reducido coste y su alta calidad, hacen que este producto sea uno de los más vendidos como sustituto de persianas ya existentes por su sistema práctico y adaptable.

Figura 151. Persiana de PVC en cuatro colores
Fuente: latiendadelascortinas.blogspot.com.es/

4.4 LA VERSATILIDAD DEL PVC DE CALANDRA EN LA PRÁCTICA ARTÍSTICA

Gracias a los apartados anteriores, hemos descubierto que el policloruro de vinilo o PVC, se caracteriza por tener una amplia variedad de acabados y utilidades. Por ello, dado su atractivo conglomerado de propiedades, ocupa un lugar privilegiado en la familia de los plásticos. Ya hemos enumerado en apartados anteriores sus cualidades más destacadas, tales como: ser un material ligero, resistente, inerte y completamente inocuo, con un excelente comportamiento ante el fuego, impermeable, aislante (térmico, eléctrico y acústico), resistente a los agentes climatológicos, de elevada transparencia, protege los alimentos, tiene un bajo coste, es fácil de transformar (extrusión, inyección, calandrado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas), y es totalmente reciclable. Con toda esta batería de propiedades, era imposible dejar pasar de largo este material y dentro de los tipos de cantos, seleccionamos el PVC de calandra ya que es el más habitual en el campo del sector inmueble, por lo que nos era de más fácil acceso.

Aparte de todas las ventajas que nos ofrece el PVC, las dos características que más nos atrajeron fueron su maleabilidad y solidez. La primera, es fundamental porque cuando al PVC le aplicamos calor, al aumentar su temperatura corporal, hace que este sea mucho más manejable y flexible, como si de goma se tratase, y al cesar de incrementarle calor adopta la nueva forma trabajada y recupera por completo su solidez. La segunda característica es precisamente lo que acabamos de mencionar -la solidez- ya que por su composición química posee una excelente resistencia tanto a los golpes físicos como a los agentes agresivos que se encuentran en la mayoría de las zonas urbanas e industriales, y lo que a un artista le interesa es que su obra perdure en el futuro el mayor tiempo posible.

Por otra parte, es un material que dispone de una gran amplia variedad de texturas, acabados, tamaños y colores, por lo que es un buen elemento plástico, pudiéndolo trabajar tanto en horizontal como en vertical, por acumulación tipo sándwich dando lugar a un volumen, pasando de lo bidimensional a lo tridimensional, realizando collage, etc.

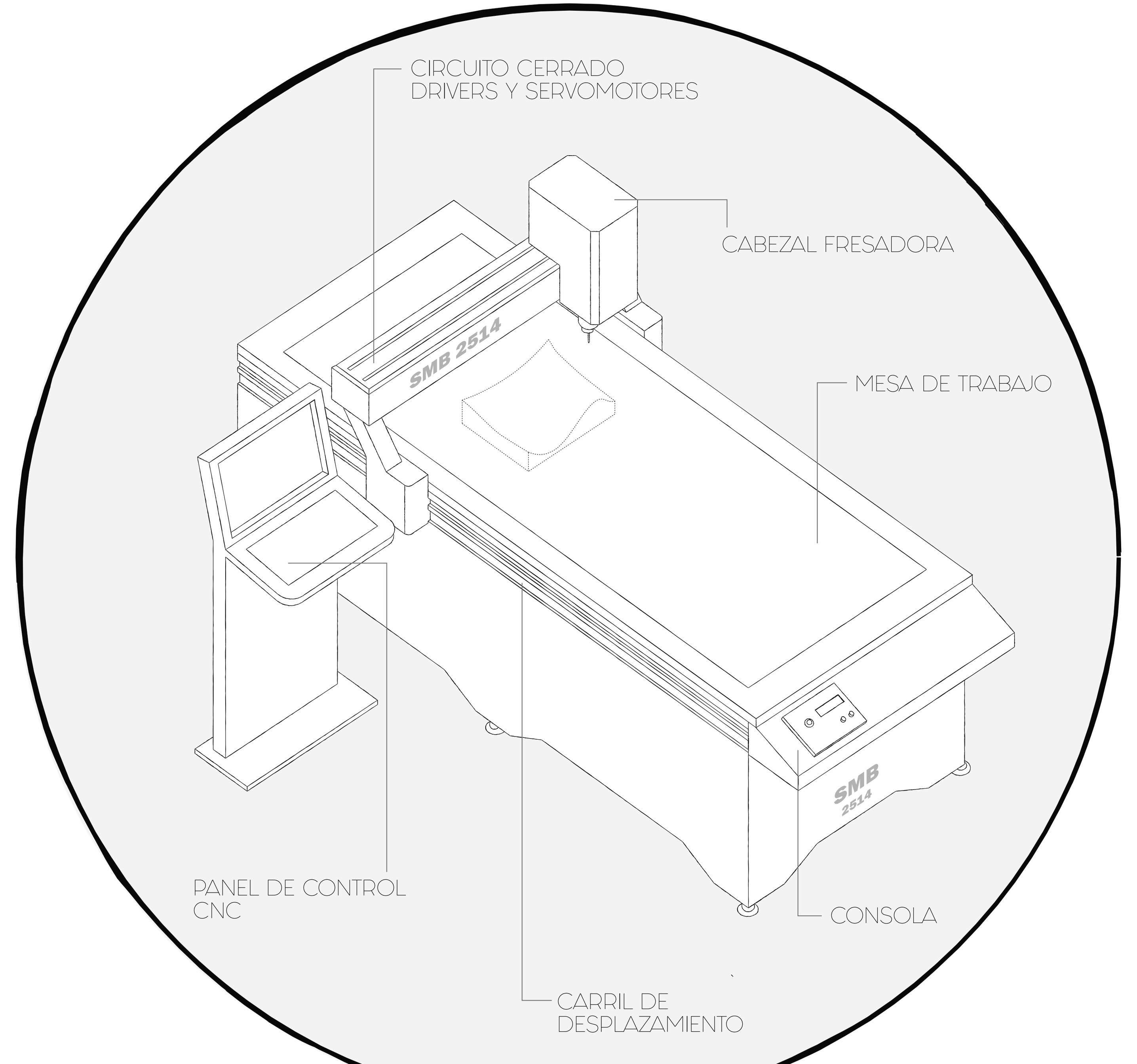
Gracias a todo ello, pensamos que el PVC es un material con el que establecer un lenguaje artístico, siendo este un material poco usual en este campo, sin otro fin que el dar forma plástica a los pensamientos e ideas del autor.

En cuanto a nivel expresivo y simbólico, las formas orgánicas de los volúmenes mecanizados establecen una contraposición entre un trabajo totalmente industrial[53] y el de un resultado final con formas que evocan a procesos geológicos naturales como el de la erosión o la sedimentación, cuyos fines son el de la deconstrucción del relieve existente. Con lo cual se forma una dualidad en el proceso de ejecución de estas piezas y es que se partió de la idea de la "construcción", mediante el proceso tradicional del encolado de las planchas de PVC; para dar paso a la "deconstrucción" del propio material gracias a las nuevas tecnologías como el CNC, con el fin de dejarnos ver los relieves que se encuentran en un vacío interno que desenmascarará la "picto-escultura".

Es entonces cuando, gracias a la superposición de las planchas de PVC coloridas, nos muestran por medio de sus cantos y a modo collage, su carácter pictorialista predominando la linealidad asociada a la idea del recorrido, de tener que moverse a través de la obra para su total comprensión. En esta parte el acumulacionismo y el arte del reciclaje aparecen por medio de un conglomerado de capas, haciendo de nuevo alusión a los formatos de algunos muebles empleados en marquetería. Pero debido a la "deconstrucción parcial" de la pieza y a que el resultado tras el fresado adquiere un acabado pulido en el que impera la curvatura constante; esas líneas, que contempladas frontalmente adquieren un rol estático, a medida que el espectador se desplaza por el espacio es cuando estas cobran movimiento, mostrándonos el modelo virtual a modo de sección que previamente se diseñó.

Por tanto cabe mencionar el vínculo con el arte óptico de la década de los 50, el cual irrumpió en el campo del arte mediante el predominio de composiciones con formas geométricas puras y efectos alternantes del color, generalmente monocromático. Uno de los aspectos formales que más emplearon fue el de jugar con los efectos de color puro mediante formas abstractas reguladas que alteraban la percepción visual y la capacidad de entendimiento humano. Los efectos ilusorios pretendieron generar el movimiento de esas profundas formas estáticas llenas de contrastes, también fue un recurso que les sirvió a los artistas como Nick Ervinck o Bridget Riley, ejemplificar en sus obras estos conceptos.

[53] Semejante al funcionamiento de la industria del mueble y marquetería en la que se establecen una serie de procesos puntualizados como el corte del material, el encolado, prensado, fresado, lijado, pulido, etc.



maqui-na

En esta fase se ha empleado un proceso de trabajo basado en el desbaste de material mediante una herramienta rotativa vertical denominada fresa.
La maquina utilizada consiste en un modelo de CNC (control numérico computarizado) trabajando en conjunto con una serie de motores y componentes de accionamiento para desplazar los ejes de la máquina de manera controlada y ejecutar los movimientos programados.

modelo: SMB 2514

elección material

La primera fase de nuestro proyecto plástico fue la de escoger el material que se adecuara más a nuestras perspectivas de trabajo.
En esta ocasión nos centramos en el PVC por la gama de posibilidades que ofrece.

Dentro de las variedades de PVC existentes, se ha trabajado con dos tipos principalmente, PVC de calandra y PVC espumado

PVC

TEMPERATURA
Grado de resistencia del material a los efectos de calor, lo que nos permite diferentes tratamientos posteriores al mecanizado de las piezas.

COLOR
Corresponde a la gama de posibilidades crómaticas que ofrece cada uno de los matriales.

PESO
La densidad del material influye en el peso final del modelo. Por tanto ha de optimizarse dicha propiedad para evitar piezas excesivamente pesadas.

DUREZA
Es importante buscar un equilibrio entre la dureza del material y la agilidad de desbaste durante el mecanizado. Por tanto una dureza excesiva condicionará el coste de la fabricación.

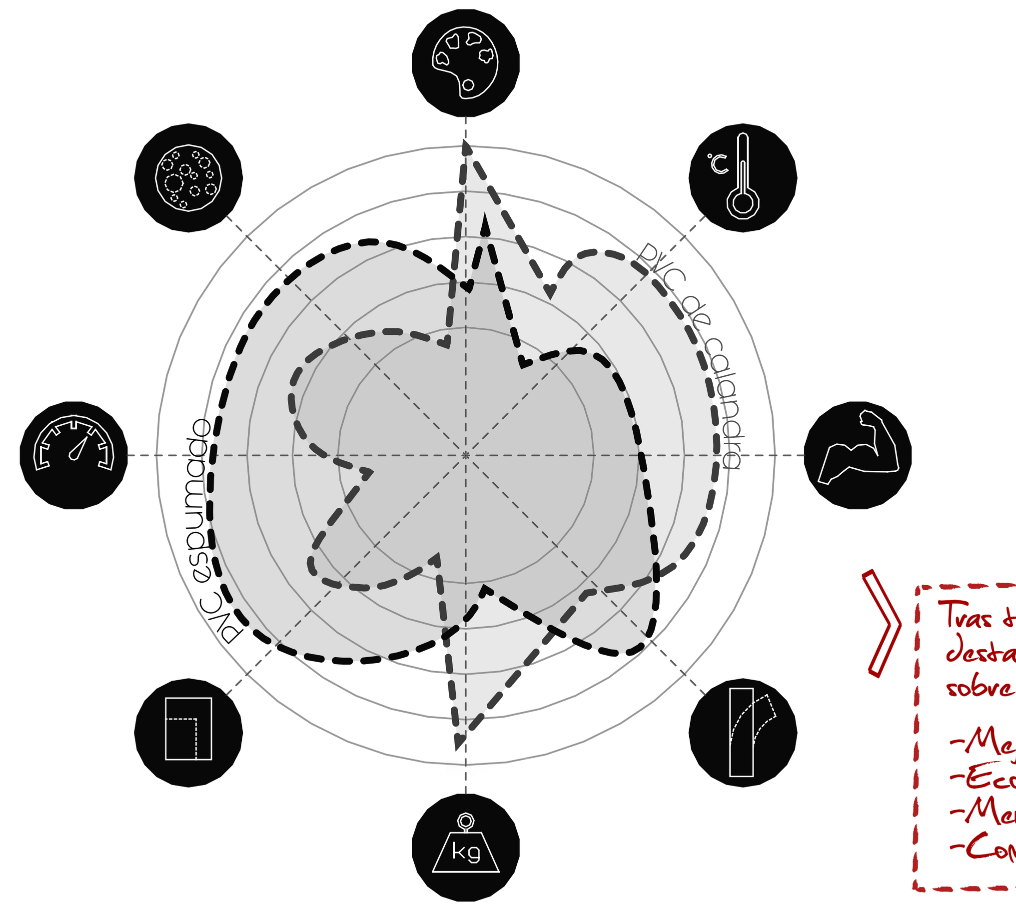
FLEXIBILIDAD
Una mayor flexibilidad mejora la capacidad de mecanizado de los modelos mediante CNC.
Los materiales excesivamente rigidos tienden a astillar durante el fresado.

POROSIDAD
La porosidad del material puede disminuir la resistencia del mismo, y al mismo tiempo facilitar la absorción de diferentes sustancias.

FORMATO
Se refiere al modo de comercialización de los distintos materiales, y que según la finalidad que se pretenda puede ser una ventaja o una dificultad.

VELOCIDAD TRABAJO
La velocidad de mecanizado estará relacionada con otras propiedades como la dureza y la flexibilidad, y de ella dependerá el coste económico y el acabado de los modelos.

- PVC DE CALANDRA
- PVC ESPUMADO



Tras trabajar con ambos materiales, destacamos el PVC espumado sobre el PVC de calandra
- Mejor acabado
- Economía costes mecanizado
- Menor peso
- Comodidad formato de venta

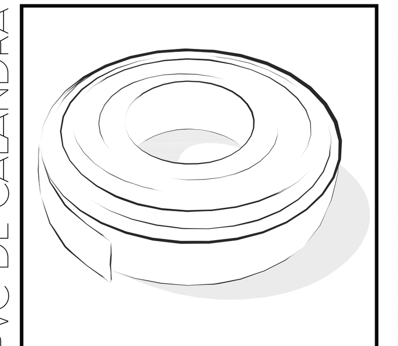
expe-rimenta-ción

Tras seleccionar el PVC de calandra y espumado como materiales de trabajo, iniciamos el proceso de experimentación por medio de diferentes pruebas de contacto.
El objetivo fue evaluar su comportamiento para el desarrollo de piezas artísticas.

tipos experimentaciones:

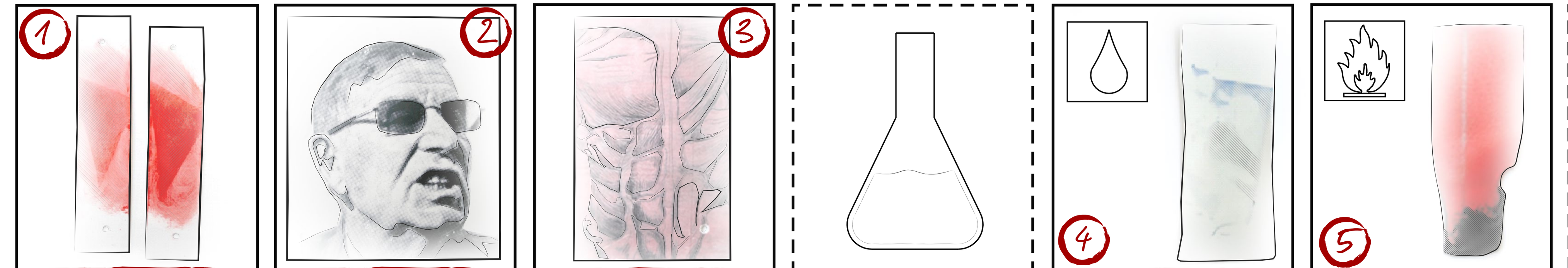
	PVC calandra	PVC espumado
Químicas>	solventes calor	-
Físicas>	pictóricas rayado	pictóricas

PVC DE CALANDRA



Partimos del material extrusionado en forma de bobina, con espesores que oscilan de 0,4 a 2mm.

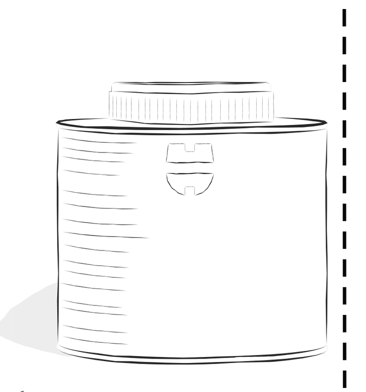
Aplicamos una serie de procesos físicos de diferente índole sobre la superficie del PVC de calandra.



1. Prueba con lijas y PVC sobre tórculo. Observamos que, a mayor presión más cantidad de detalle y punteado en el PVC.
2. Procedemos a plasmar imágenes mediante serigrafía directa sobre PVC de calandra, con diferentes tonos.
3. Rayamos con un punzón el PVC hasta realizar la imagen que queramos calcografiar. Lo entintamos y por contacto lo transferimos.

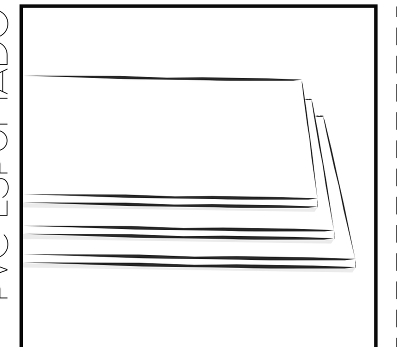
Aplicamos distintos procesos químicos sobre el material.

4. Atacamos el material mediante acetona. Deforma la muestra, y deja la marca del trapo impregnado.
5. Mediante un soplete, aplicamos fuego directo al material observando que se auto-extingue sin llegar a arder.



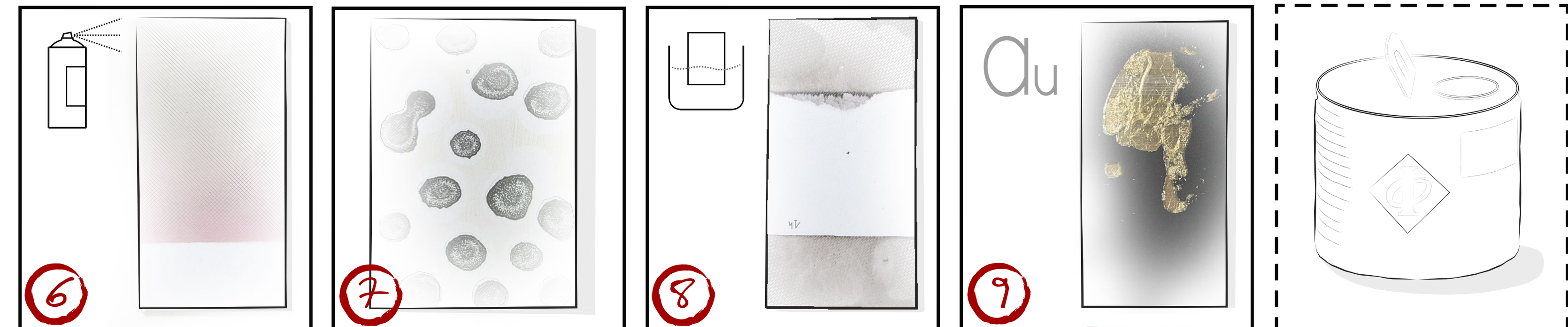
En ambos casos el pegamento seleccionado para el ensamblaje de las láminas debe ser apropiado para PVC. Nos decantamos por el de la marca WURTH, ya que el proceso de secado es más lento y nos permite deslizarnos con el pincel evitando grumos o burbujas tras el rápido secado.

PVC ESPUMADO



El material se presenta en formatos rectangulares de 2.440x1.220mm, con espesores variables (Blanco 1-24mm, Color 3-5mm).

Nos centramos en la aplicación directa de técnicas pictóricas sobre la superficie del material.



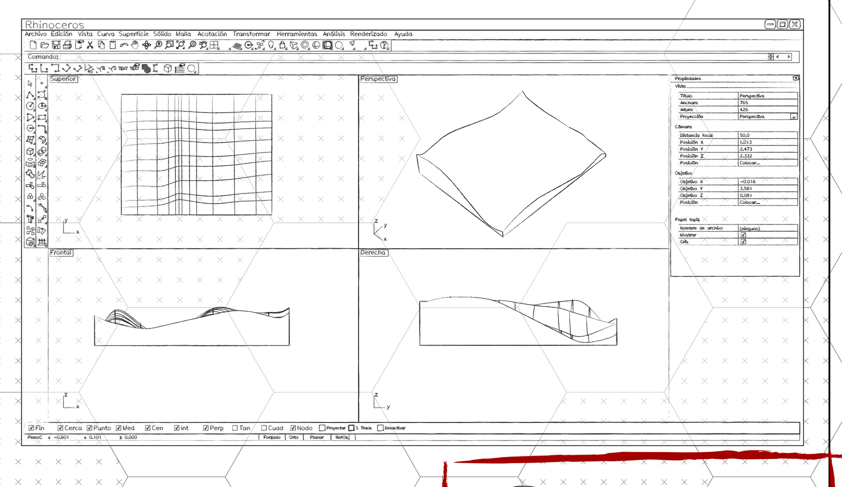
6. Realizamos una degradación mediante aerógrafos sobre la superficie. Se consigue una gran cubrición sin alteración del material.
7. Vertemos acuarela directamente sobre la superficie a modo de gotas, pues si la aplicamos con pincel queda excesivamente tenue.
8. Sumergimos la plancha en tinte al agua con alcohol para maderas durante tiempos entre una y ocho horas.
9. Aplicamos pan de oro por medio de la técnica de dorado a la mixtión mediante barniz al agua, en capas lo mas delgadas posible.

Aplicamos 4 capas de barniz de poliuretano acrílico OMARCRIL M5 para sellar y proteger la pieza.

dinámi-cas proceso

A través de procesos de mecanizado basados en la deconstrucción, desarrollamos modelos dinámicos de geometría orgánica y azar intencionado, utilizando como soporte de los mismos PVC de calandra y espumado.

fase 01 ////modelado



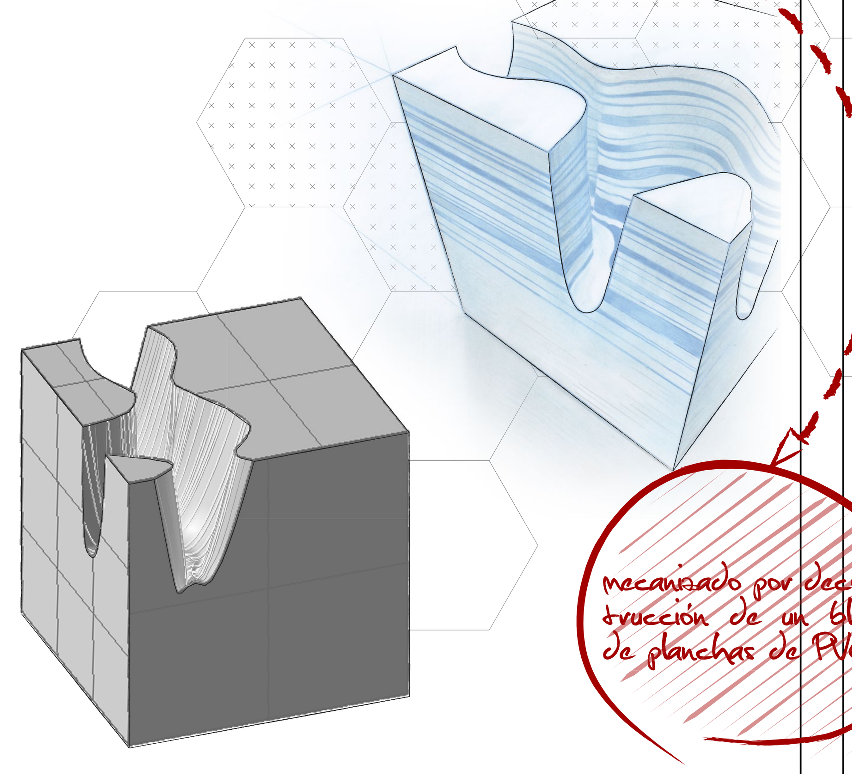
La digitalización de los diferentes modelos se consigue mediante un software de diseño 3D.

Como punto de partida nos basamos en los bocetos iniciales y las dimensiones del volumen real sobre el que se realizará el desbaste.

Una vez tengamos todos los datos necesarios, comenzamos a introducir el modelo sobre el sofware Rhinoceros.

paso 1
Partimos de la idea y concepto de la obra.

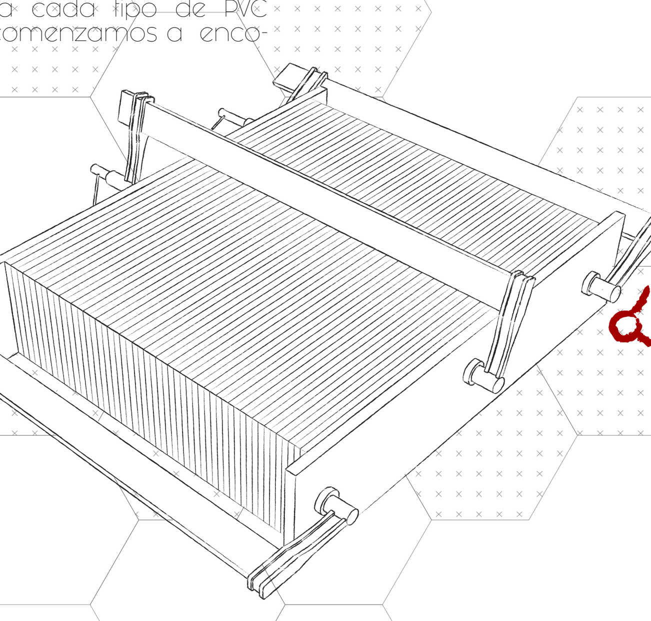
paso 2
Diseño de modelo en Rhinoceros a través de superficies NURBS.



mecanizado por deconstrucción de un bloque de planchas de PVC

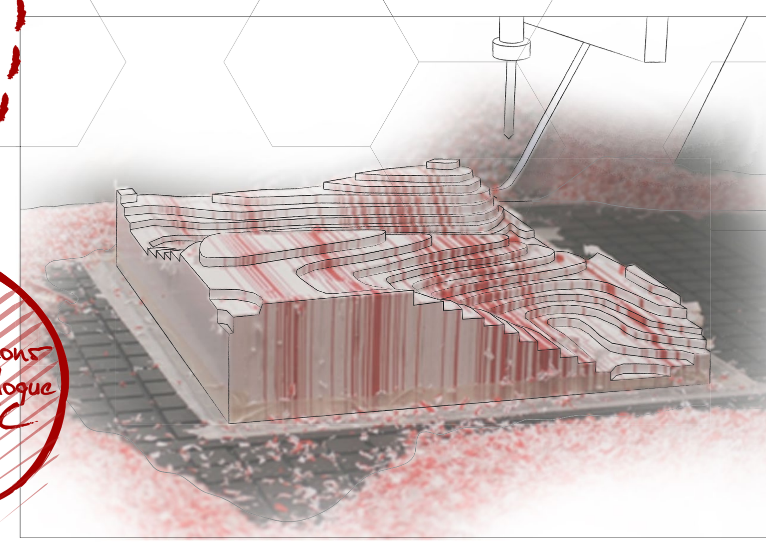
fase 02 ////mecanizado

Una vez colocadas todas planchas de **PVC de calandra o espumado** en el orden en el que se van a disponer como obra plástica, comenzamos la fase de encolado en diferentes bloques.
Tras elegir el pegamento necesario para cada tipo de PVC utilizado, comenzamos a encolar la pieza por partes mediante gatos de sujeción de diferentes tamaños y soportes planos de madera, para no apretar el material de forma directa y que la presión sea uniforme en toda la superficie.



Los bloques confeccionados se posicionan sobre la mesa de trabajo de la máquina. A través del sistema de ejecución que genera el software de maquinado (ASPIRE CAD-CAM), se recoge la información de la figura dada y genera una ruta de trabajo para la herramienta.

Dependiendo del material de trabajo y su dureza, se emplearan distintas velocidades de corte y de avance, estableciendo la teoría de que a mayor dureza de soporte se necesita una mayor velocidad de corte pero menor velocidad de avance generalmente.



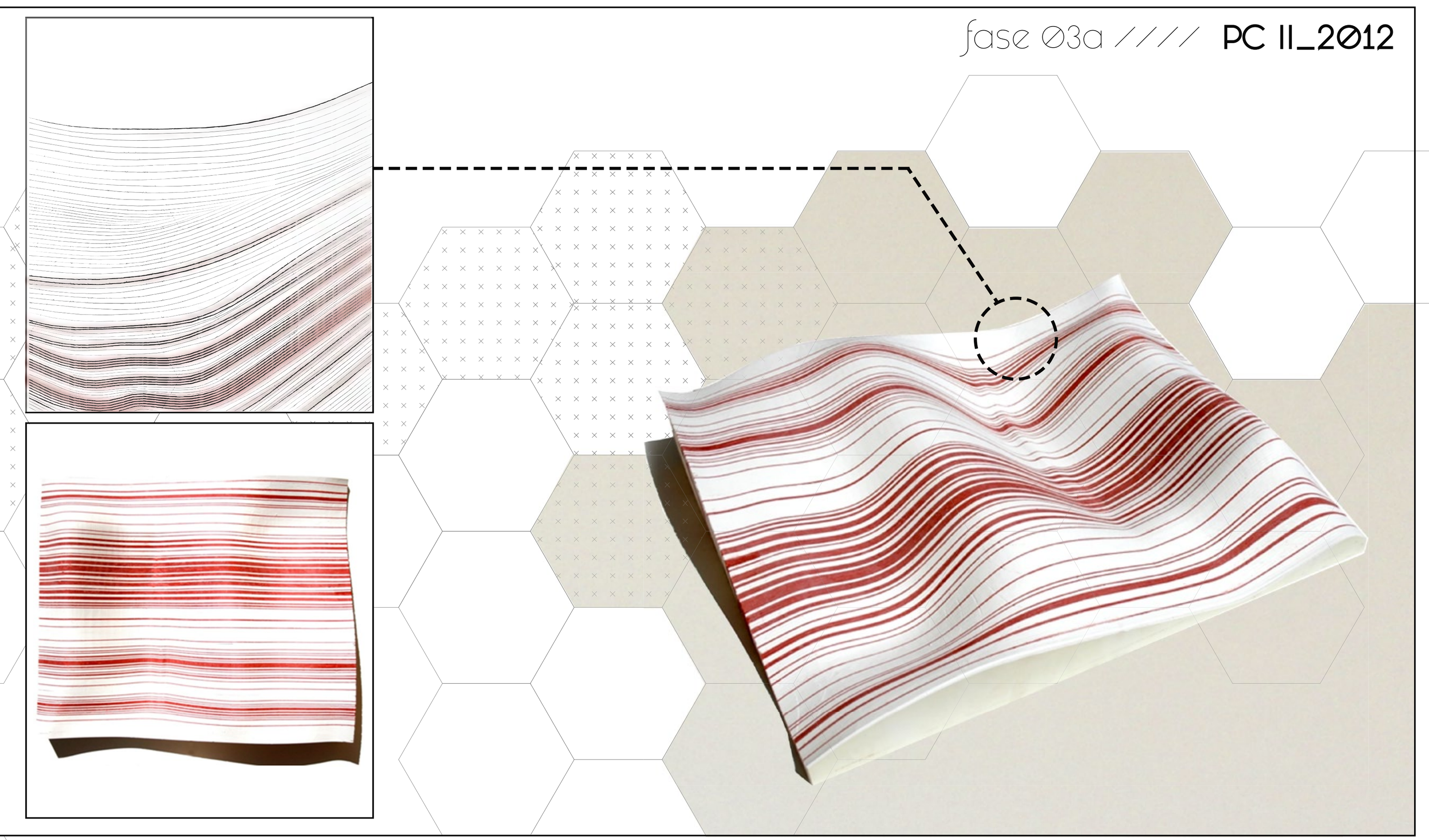
fase 03a //// PC II_2012

Partimos de un bloque de PVC de calandra en tonos rojo y blanco

Tras todo este largo proceso de corte, encolado y fresado, obtenemos un resultado cuyo lenguaje versa entorno a los mapas topográficos por medio de lineas de color, que dan lugar a curvas orgánicas revelándonos la parte interna de nuestra figura.

Nuestra principal pretensión es la de experimentar las amplias posibilidades de este material, ya sea pintándolo, rallándolo o superponiéndolo.

Las lineas que superpuestas representan un volumen dinámico, solo pretenden salir a la luz, levantarse de ese socavón en el que se encuentran internas para alterar su uso cotidiano que es el de revestir superficies. En este caso, el PVC de calandra es el protagonista, él mismo es el que se auto-recubre y no necesita de nadie más que de su repetición para engrandecerse. Por medio de la **deconstrucción** se hace posible esta visibilidad interna, que a su vez genera un vacío que es también otro motivo de representación.



fase 03b //// CUBENOIR_2014

Cubo conformado mediante planchas de PVC espumado en dos tonos neutros

En este modelo en concreto, resaltamos el concepto de **picto-escultura** al conseguir resultados con formatos cúbicos. Éstos, adquieren un lenguaje escultórico al disponerse sobre peanas en los que la línea pictórica cobra movimiento gracias a las curvas de la propia sección.

El predominio de curvatura cóncava y convexa, hace que la linealidad generada por la acumulación de planchas de PVC espumado, creen movimiento en función de la ubicación del espectador. Por eso, éste tipo de piezas dispuestas sobre peanas parten de la idea de generar movimientos e ilusiones ópticas.

Su aspecto cúbico condiciona su percepción, haciendo que ciertos puntos de vista de la obra impidan tener una visión total del fresado realizado, por lo que se hace necesaria la participación activa del espectador, que al rodear la obra, podrá contemplar el movimiento de las líneas y el ritmo que son capaces de crear. Así, la **deconstrucción** fragmentada realizada, nos muestra como resultado el vacío generado mediante el fresado, y éste, a su vez nos abre el camino al movimiento del color.

4.5.1 Elección del material

En principio, la primera fase de nuestro proyecto plástico fue la de escoger el material que se adecuara más a nuestras perspectivas de trabajo. De este modo, lo que hicimos fue realizar un sondeo de posibles materiales que, por el hecho de haber convivido con ellos durante tantos años, pensamos que podrían dar buenos resultados al conocerlos mejor. Uno de los primeros materiales que nos atrajeron, fueron las lijas que mostramos a continuación:

Figura 152. Lijas de 150cm de ancho, de diferente dureza
Fuente: elaboración propia

Estas lijas, aparte de partir de una base de color, todas tienen un grano y una dureza diferente por lo que nos resultó interesante establecer una conexión que las unificase a todas. Pero este no fue el material elegido para nuestra investigación. En segundo lugar, optamos por utilizar lacas, concretamente en negro, blanco y plata, mezclando acabados en brillo, mate, semimate o satinado. Esta idea nos surgió al ver un tipo de mueble específico en el que combinaban dichos colores adquiriendo un resultado bastante llamativo.

Figura 153. Detalle de melanina natural incrustada en puerta
Fuente: elaboración propia

Esta segunda opción la descartamos también, aunque no para un futuro planteamiento de trabajo, únicamente para este proyecto. Por último, nos decantamos por emplear melaminas, pues al fijarnos en un detalle de una puerta nos supuso especial interés. Dentro de este material encontramos varias vertientes como el PVC de calandra o extrusionado, melamina natural, ABS y poliéster.

Figura 154. Detalle del mueble
Fuente: elaboración propia

Figura 155. Detalle de puerta 2
Fuente: elaboración propia

4.5.2 Pruebas de contacto con PVC de calandra

Tras seleccionar el PVC de calandra como medio artístico, comenzamos a realizar pruebas de contacto que analizaremos más detenidamente en los anexos del final. Nos resultó interesante utilizar este material como plancha de grabado, rayándolo y lijándolo como un nuevo tipo de soporte a trabajar. Los resultados fueron satisfactorios puesto que observamos como la plancha de PVC actuaba como soporte a la vez que, como plancha calcográfica, es decir, podíamos hacer pruebas y contrapruebas partiendo solo de una plancha trabajada. Obtuvimos resultados tanto en papel como en PVC como los que mostramos a continuación:

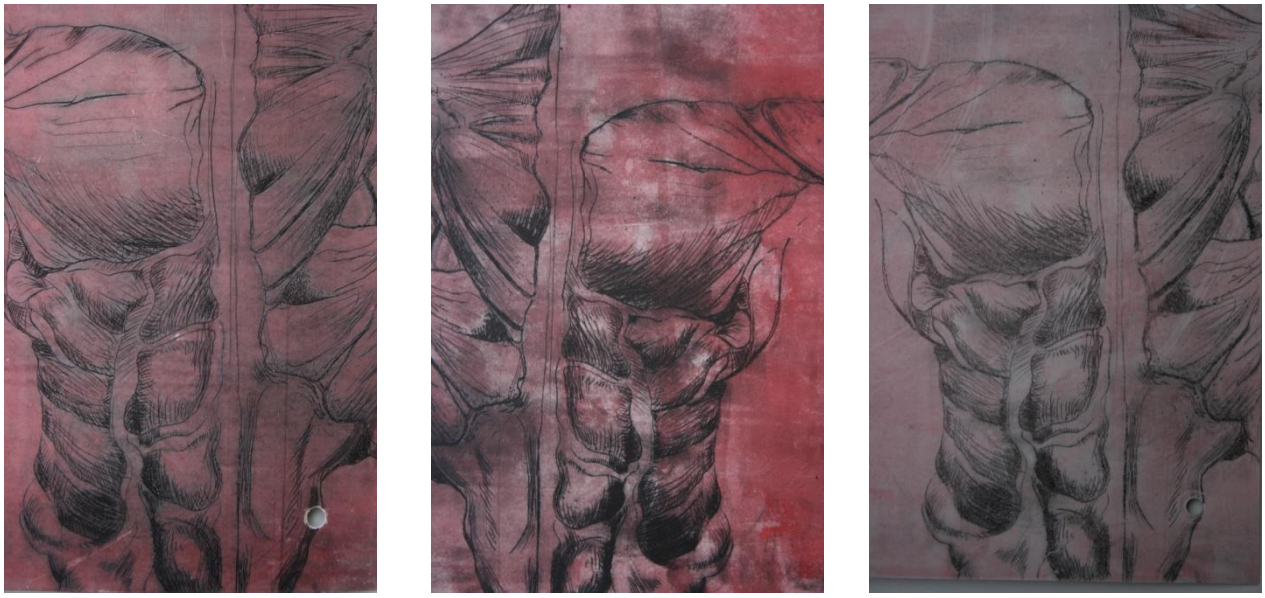


Figura 156. PVC como plancha, resultado en papel y contacto de papel a PVC
Fuente: elaboración propia

Lo interesante fue, que una vez estampada la imagen en el papel, podíamos optar por volver a estamparla en otro PVC por contacto con la copia del papel, obteniendo diferentes texturas. Con esta experiencia, demostramos que el PVC resiste a las presiones de prensado y admite la realización de un tiraje largo sin alteración en los trazos realizado.

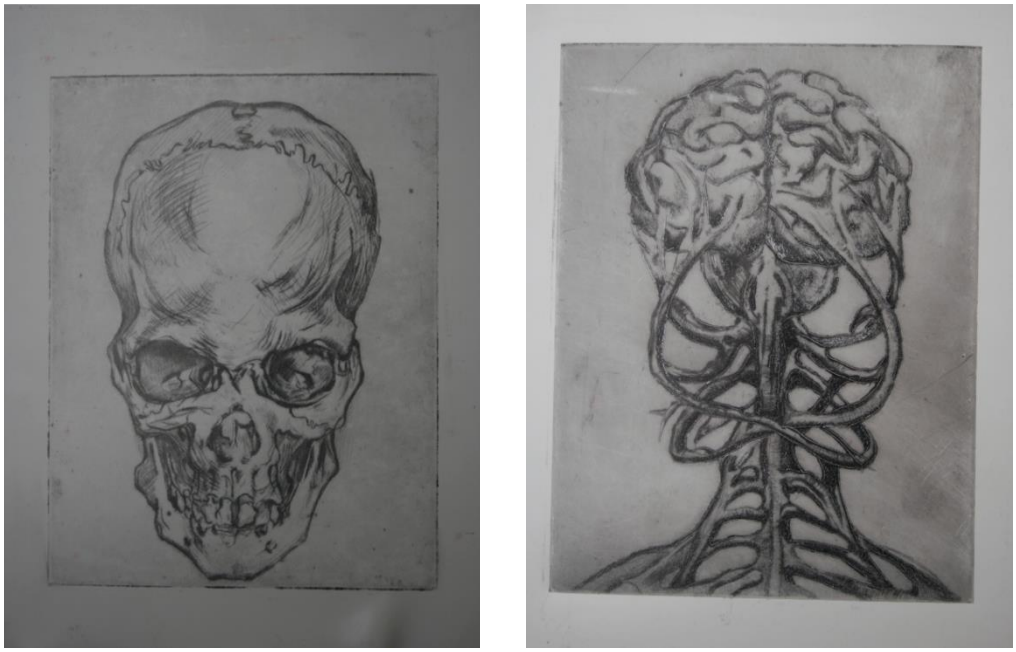


Figura 157. Prueba de plancha de zinc a PVC 1 y 2
Fuente: elaboración propia

La segunda alternativa fue que actuara con el rol del soporte impregnado, en este caso la plancha calcográfica era de zinc y los resultados fueron satisfactorios puesto que se adhería perfectamente.

Las últimas pruebas que hicimos fueron mediante serigrafías, observando que la pintura se adhería al material perfectamente, por lo que podríamos utilizarlo como soporte pictórico, aplicándole después pintura acrílica o algún detalle con aerografía. Esta metodología de trabajo nos abre campos a explorar estos nuevos soportes para no caer en la dinámica tradicional.

Figura 158. Prueba de serigrafía con pintura acrílica y serigrafía con aerógrafo
Fuente: elaboración propia

Puesto que este material solo podemos obtenerlo con unas medidas ajustadas a su verdadera utilización (25 cm de ancho por todo el largo que necesites), que es la recubrir cantos de mesas o cualquier otra superficie, concretamos que lo ideal sería trabajarlo por acumulación, puesto que disponen de una amplia gama de tonalidades cromáticas y al ser un material flexible y manipulable por medio del calor, nos aporta grandes posibilidades a la hora de trabajarlo.

4.5.3 Primeras piezas mediante CNC: proceso de digitalización

Antes de comenzar a realizar la pieza en sí, empezamos con una tirada de pruebas con el software Rhinoceros para ver si era posible su realización con este tipo de programa virtual.

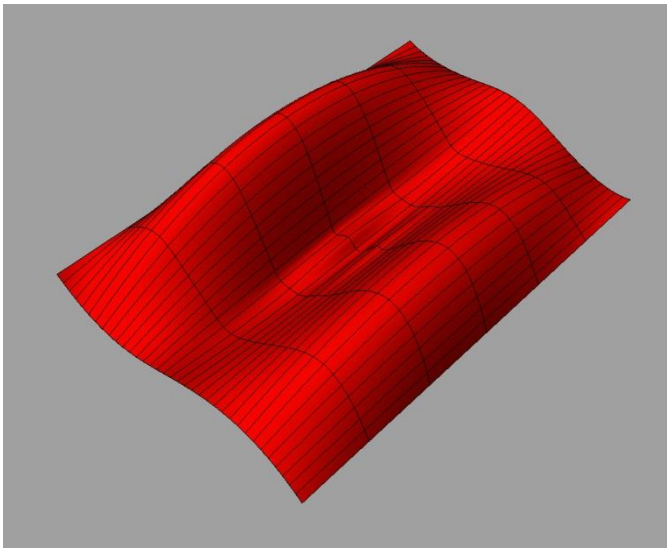


Figura 159. Prueba de inicio virtual. Sección de corte
Fuente: elaboración propia

Las primeras pruebas realizadas nos permitieron visualizar, por un lado, la sección de corte separada del resto del volumen total, lo cual fue una novedad a la hora contemplar en 3D las formas internas de la sección ya que esa visualización nos aporta información del aspecto que finalmente va a tener nuestra pieza mucha antes de concluirla. Por otro lado, la pre-visualización del volumen total de la pieza, nos permite anticipar la cantidad de planchas de PVC de calandra que tendremos que encolar mediante acumulación.

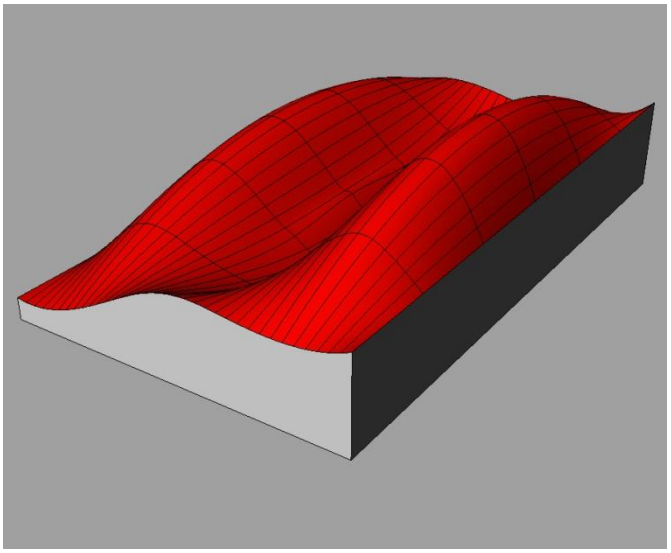


Figura 160. Prueba de inicio del total de las planchas
Fuente: elaboración propia

A la hora de realizar la pieza definitiva virtualmente, utilizamos el software Rhinoceros (al que prestaremos atención más adelante). Inicialmente nos resultó más coherente partir de un bloque con su medida equivalente a la suma de las 400 planchas y posteriormente realizar la segmentación de las mismas por separado. Este proceso sería el inverso a su realización con el material a tratar.

4.5.4 Metodología del diseño 3D de la pieza

Primero, realizamos una superficie de 40x50cm, que equivaldría a nuestro volumen de trabajo segmentado a su vez en 400 planchas de PVC de calandra. Esta simulación era necesaria para darle la forma a la sección con la que íbamos a trabajar.

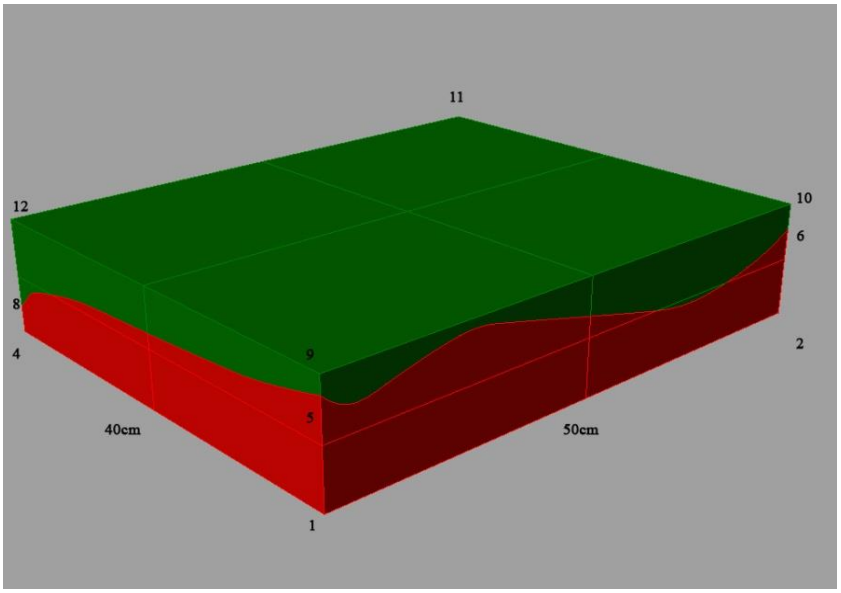


Figura 161. Imagen virtual del bloque de trabajo. 40x50cm
Fuente: elaboración propia

Una vez obtenido este volumen en el espacio virtual, comenzamos con la realización de las secciones por sus cuatro lados. Aunque el desarrollo final no fue así, puntualizaremos que fue interesante realizar un estudio previo para optar por un máximo aprovechamiento del material, dándonos como resultado una pieza que sea justo el doble en volumen. A la hora de realizar las secciones por los cuatro costados, debíamos tener en cuenta dos factores:

- Por un lado, las distancias del inicio de la sección tenían que ser opuestas, pero con cierta relación. Si observamos la figura 162, la altura que hay desde el punto 8 al 12, es igual que la altura que hay desde el punto 2 al 6, y desde el punto 8 al 11, la misma que del punto 6 al 10.

- El segundo factor a tener en cuenta sería que las relaciones mencionadas anteriormente tienen que estar enfrentadas en diagonal. Esta posición en diagonal es necesaria para que cuando tracemos una recta tangente en la curva que nos da la sección, no sufra ningún tipo de escalón o desplazamiento entre plancha y plancha, sobre todo en la parte en la que el volumen rojo y el verde se unen. Nos damos cuenta de que "casan" solo por una parte quedándose la otra parte lisa, sin curvas. Una vez realizada la sección, observamos como el bloque queda divido en dos partes: una superior (verde) y otra inferior (roja). Hay que tener en cuenta los pasos que hemos mencionado anteriormente para obtener el máximo volumen tras el corte para que tanto el resultado negativo (verde) como el positivo (rojo) se acoplen a la perfección obteniendo una pieza con un volumen duplicado[54]. Luego realizaremos un giro de 180º respecto al eje 1-2 en sentido de las agujas del reloj observando como el punto 10 y 11 no se han cambiado de posición.

Otro detalle a remarcar sería que la curva 6'-5' tiene que ser igual que la curva 8-7, pero únicamente en ese sentido, y del punto 10'-6' hay la misma altura que del punto 8-4. Al igual que la curva 5-6 es igual que la 7'-8' en ese sentido. Al trasladar la

[54] Sería recomendable retroceder al capítulo 1 para tener presente el concepto de "deconstrucción parcial", donde hablábamos del estado de vacío y a su vez de una superficie dividida en dos partes, la visible y la invisible. En este caso, al final de la materialización de la obra observaremos como la parte verde pasa a ser invisible, generando así una representación del vacío.

figura verde observamos como todos los puntos coinciden, especialmente el P' al cual se le incorporaron dos planos con el único motivo de observar que el ángulo de la curvatura de sección no varía al realizar un giro de 180º. Estimamos congruente establecer un límite en el que como máximo tuvieran una diferencia de 10º, ya que luego en el proceso de lijado se compensaría el pequeño escalón resultante de esta desviación. Esta observación se ve reflejada al girar el volumen verde, en el que el punto P al voltearlo (P') tiene la misma "angulación" siendo de 7'4º. Pero al unificar ambas figuras, es decir el punto P' con el P3, vemos como el margen de error gradual es inferior a 10º siendo de 8'3º.

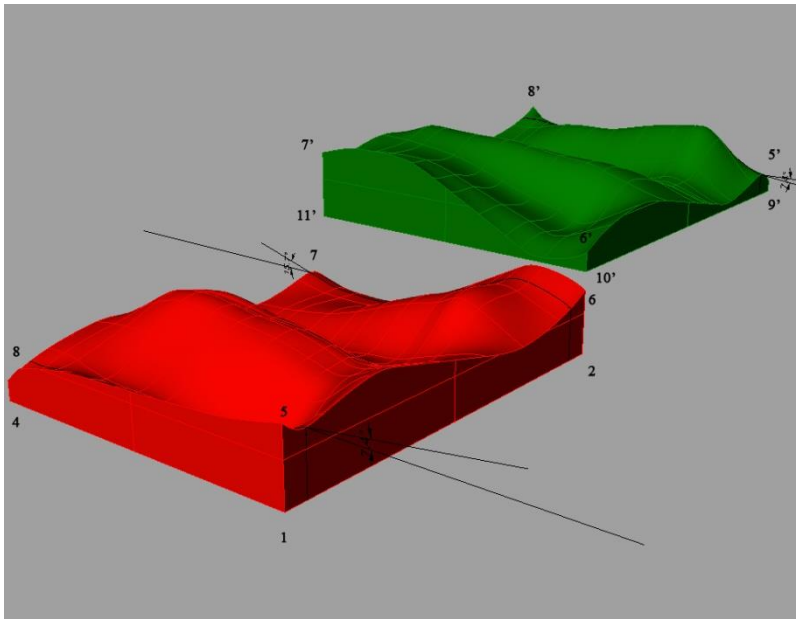


Figura 162. Volteo de 180º junto con la inserción de los planos
Fuente: elaboración propia

Por último, en este proceso de digitalización de nuestro volumen, optamos por ver el comportamiento de la figura total tras ser sometida a distintos análisis de curvaturas.

4.5.4.1 Análisis de curvaturas

Los análisis de curvaturas de superficies son una serie de apoyos visuales usados en NURBS[55] para evaluar las superficies en cuanto a su forma, continuidad, cambios de nivel, etc. La idea de curvatura está vinculada con efectos que acompañan a un movimiento.

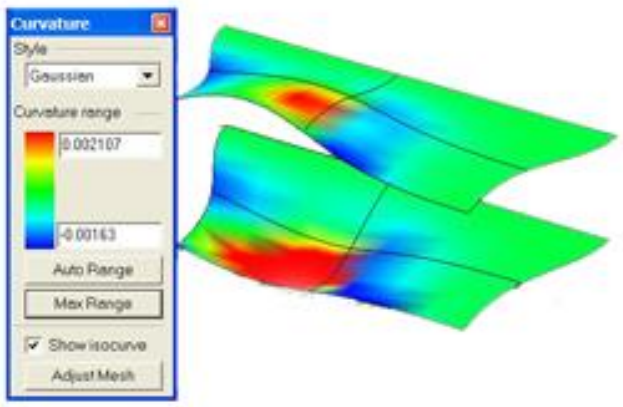


Figura 163. Representación visual de análisis de curvatura
Fuente: rhino3d.com

Con esto lo que pretendíamos era detectar los cambios bruscos entre cada curva y observar si había anomalías en la curvatura de una superficie y dónde se encontraban. Este tipo de análisis, contienen relaciones de curva que se perciben con facilidad, sobre todo en las curvas más planas. Se identifica a la recta con una curvatura nula y a la circunferencia con una curvatura constante. Como podemos apreciar, hay una escala de valores segmentados cromáticamente, siendo el color rojo, el azul y el verde los que nos aporten más datos.

Dentro del análisis de curvatura podemos diferenciar entre *media* y *gaussiana*, y ambas nos mostrarán si hay anomalías en la curvatura de una superficie y nos especificarán con el color en el lugar que se encuentran. La visualización de la curvatura *gaussiana* es útil para observar si una superficie concreta se puede realizar o no en un patrón plano, siendo esta el porducto de las curvas principales. La curvatura *media*, es el promedio de las dos curvas principales.

[55] Las NURBS o B-splines racionales no uniformes, son representaciones matemáticas de geometría en 3D capaces de describir cualquier forma con precisión, desde simples líneas en 2D, círculos, arcos o curvas, hasta los más complejos sólidos o superficies orgánicas de forma libre en 3D. Gracias a su flexibilidad y precisión, se pueden utilizar modelos NURBS en cualquier proceso, desde la ilustración y animación hasta la fabricación. Sacado del programa Rhinoceros.

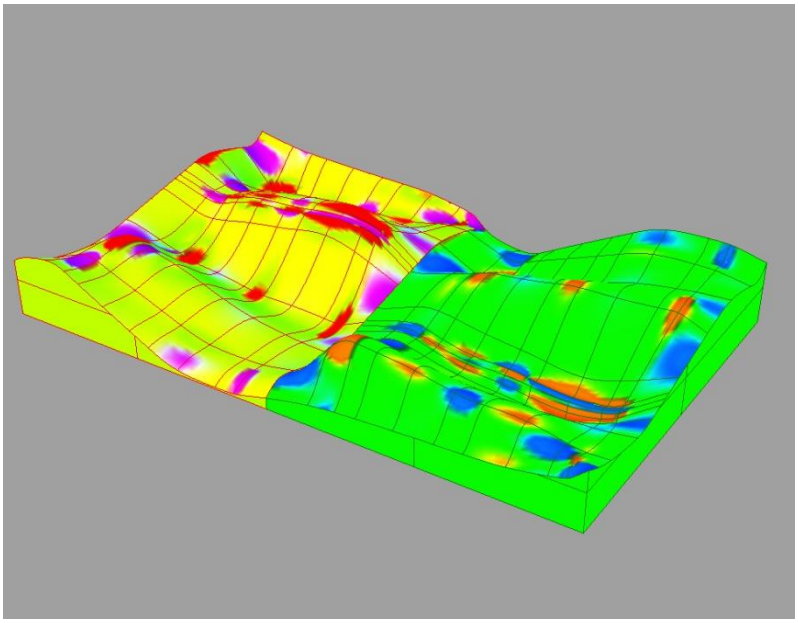


Figura 164. Análisis de curvatura *gaussiana*
Fuente: elaboración propia

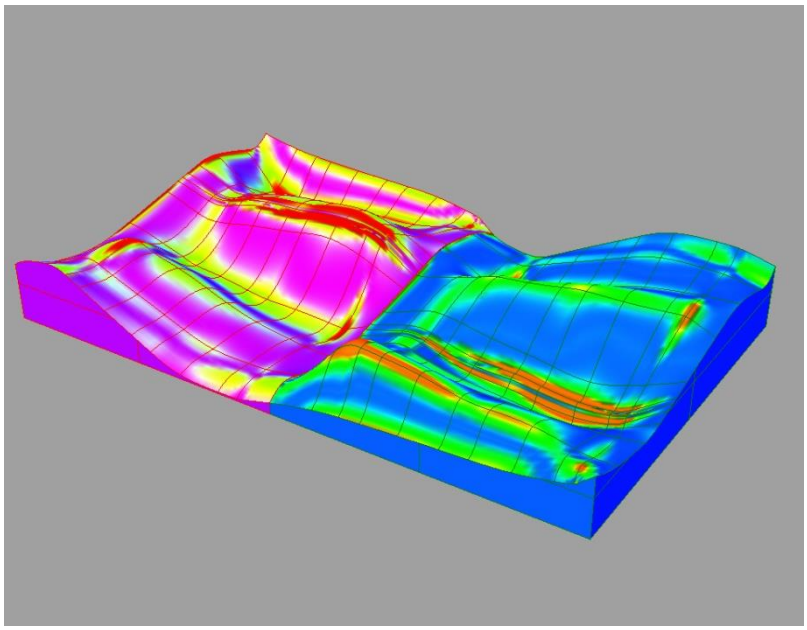
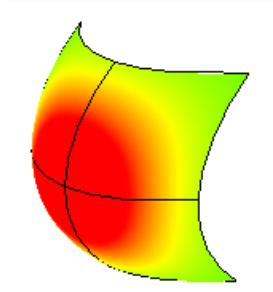


Figura 165. Análisis de curvatura *media*
Fuente: elaboración propia

Al visualizar ambos análisis, vemos el lenguaje que hay que establecer para entender este tipo de análisis, siendo los resultados de color rojo, azul y verde los que nos aportan más información.

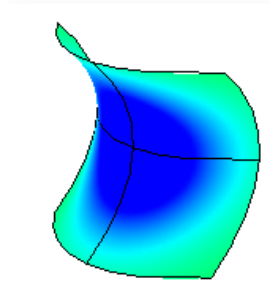
A) Curvatura positiva

El valor positivo de una curvatura *gaussiana* significa que la superficie adopta una forma volumétrica convexa.



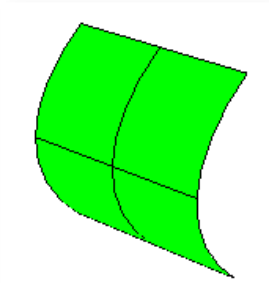
B) Curvatura negativa

Un valor negativo significa que la superficie adopta un volumen cóncavo.



C) Curvatura cero

Una curvatura cero significa que el volumen es plano por lo menos en una dirección.



Otras opciones para analizar una curva son: el radio máximo y radio mínimo, que los incluiremos a continuación en nuestro análisis.

D) Radio máximo

Esta opción es útil para la detección de puntos planos. Las áreas rojas indicarán los puntos planos donde la curvatura es prácticamente cero.

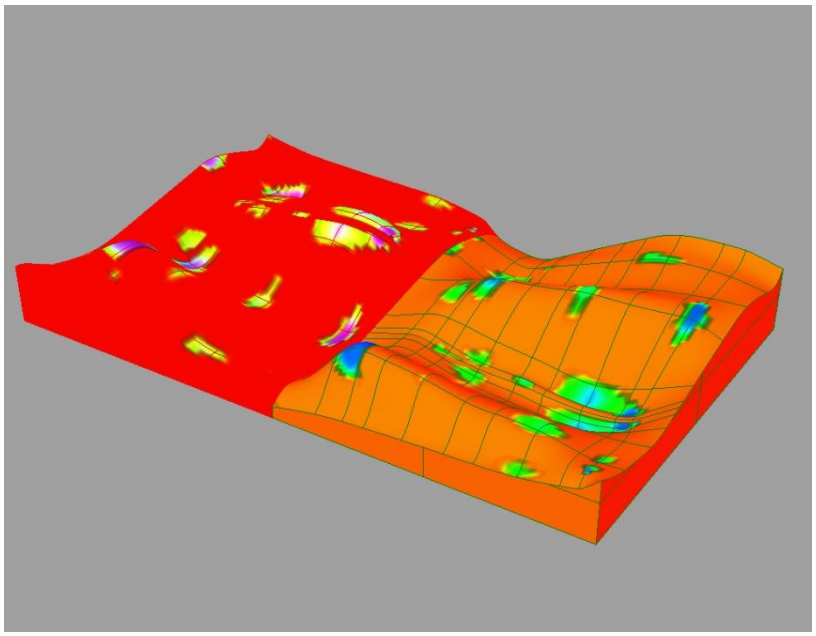


Figura 166. Análisis de radio máximo
Fuente: elaboración propia

E) Radio mínimo

Si se quiere desfasar una superficie a una distancia *r* o quiere fresar una superficie con una bola de corte de radio *r*, cualquier parte de la superficie que se curve con un radio menor que *r* causará problemas.

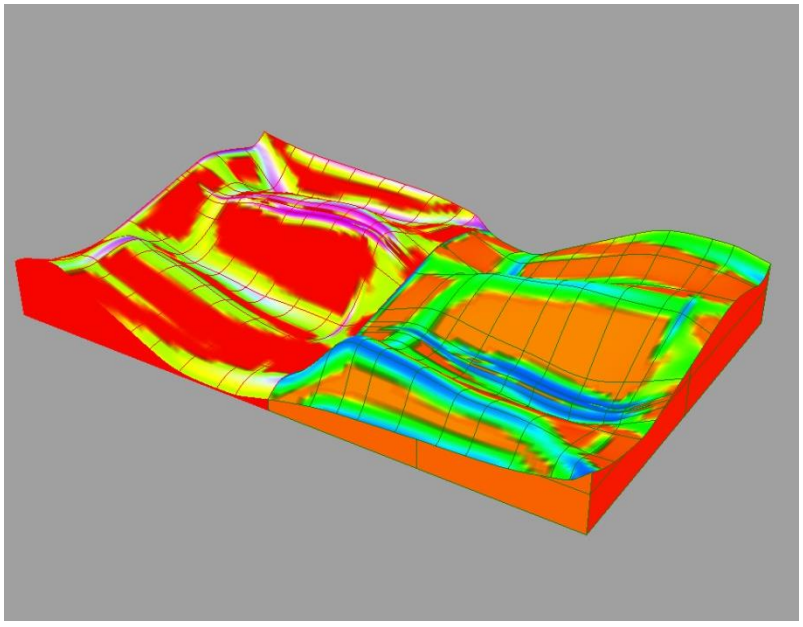


Figura 167. Análisis de radio mínimo
Fuente: elaboración propia

Una vez realizados los análisis de curvaturas, obtuvimos una pieza conjunta que equivalía al resultado final de nuestra obra con el máximo aprovechamiento del material:

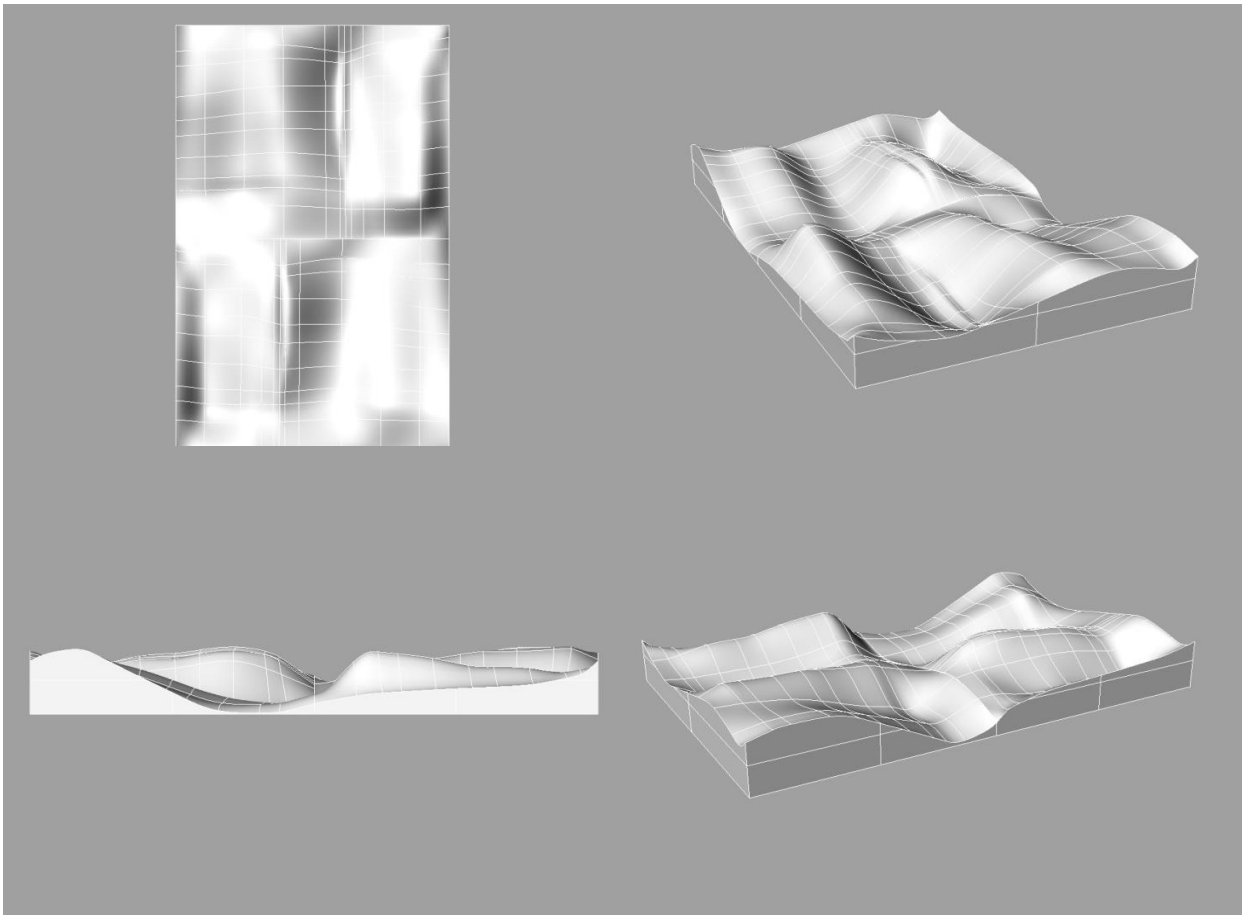


Figura 168. Diferentes vistas de la obra concluida
Fuente: elaboración propia

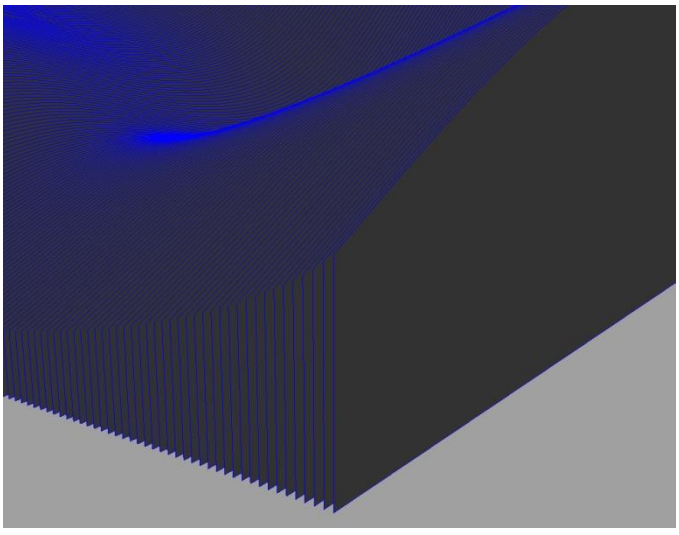


Figura 169. Detalle de las 400 planchas en digital
Fuente: elaboración propia

4.5.4.2 Contacto con el material empleado

Al tener el material de trabajo en físico, se nos plantea el primer problema, siendo el formato de presentación en el que nos llegó, puesto que al estar en bobinas enrolladas, tanto el PVC de calandra blanco como el rojo, dificultó el proceso de encolado.

Figura 171. Análisis bobina PVC roja
Fuente: elaboración propia

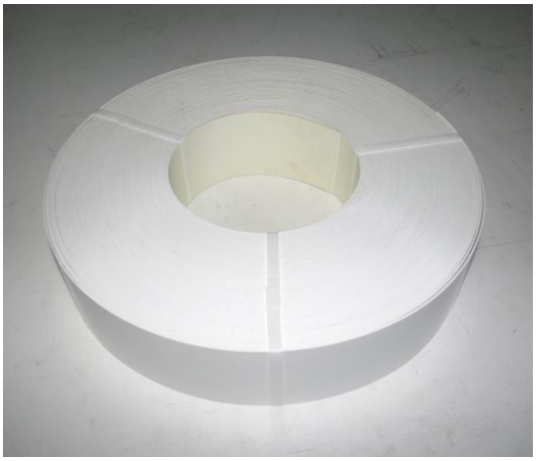


Figura 170. Análisis bobina PVC blanca
Fuente: elaboración propia

Por lo que tuvimos que seccionar en tantas planchas como precisábamos con una medida de 10x50x0.1cm aproximadamente por unidad. El gran problema de este proceso, es que las bobinas no estaban a escuadra perfectas, por lo que nos resultó imposible sacar todas las planchas iguales y por lo tanto, a la hora de encolarlas supondría un nuevo problema de angulosidad.

Figura 172. Proceso de corte con cizalla

Una vez cortadas todas las planchas, otro aspecto que tuvimos que solventar fue intentar eliminar la curvatura de las planchas. Esto se debió a que al estar en bobinas, el PVC se adaptó a esa forma, por lo que les aplicamos calor mediante estufas caloríficas para dejarlas lo más planas posibles.

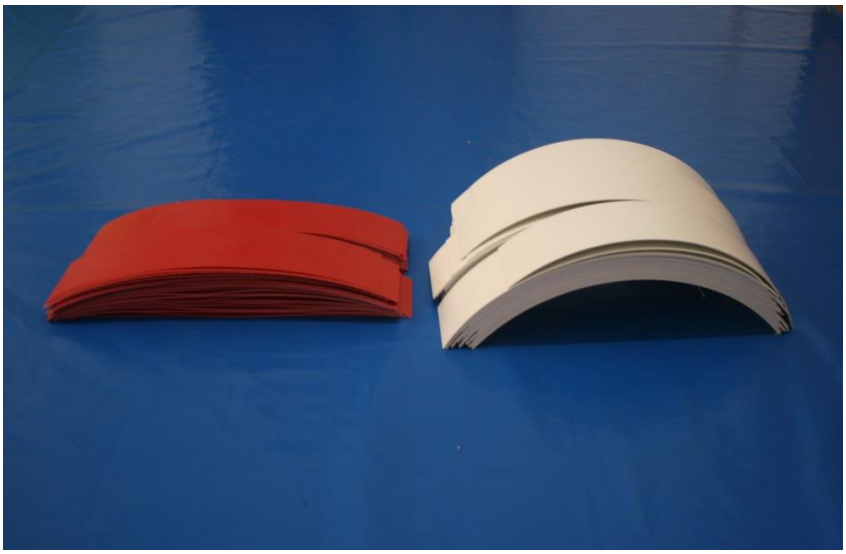


Figura 173. Planchas cortadas y visualización de la curvatura
Fuente: elaboración propia

Como podemos observar en la figura 174, las planchas de color rojo están menos curvadas que las blancas. Eso es debido a que las planchas rojas tienen menor espesor, ya que son de 0.7 milímetros, mientras que las blancas son de 1,2 milímetros, por lo que a mayor espesor más pronunciada será la curvatura puesto que será más sólida.

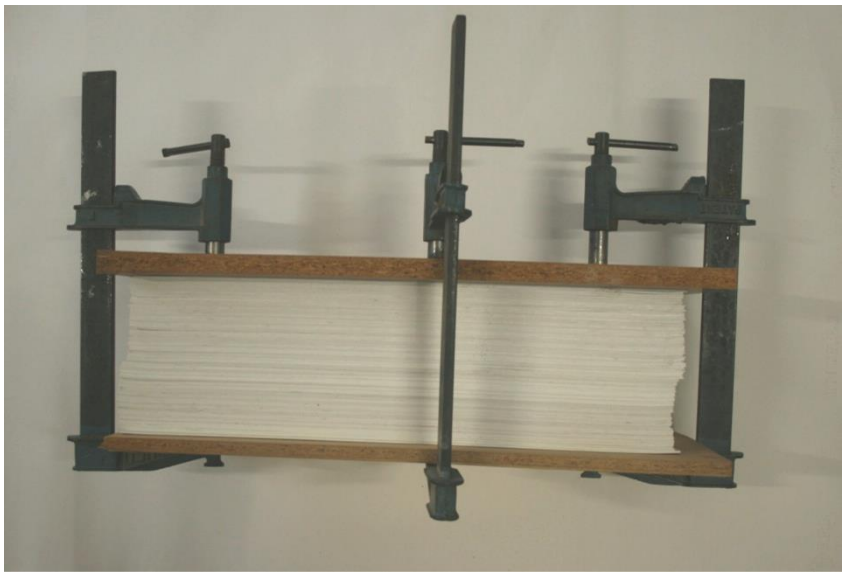


Figura 174. Presión mediante gatos de sujeción
Fuente: elaboración propia

Tras llegar a nuestras primeras conclusiones, decidimos hacer una simulación en miniatura de cómo quedaría nuestra pieza, y a su vez se nos ocurrió probar con nuevas formas dándonos resultados diferentes. En esta ocasión las adherimos con cola de contacto, pero en la obra final, decidimos encolar las planchas con un pegamento especial para PVC rígido[56] que hace que se fundan por contacto.

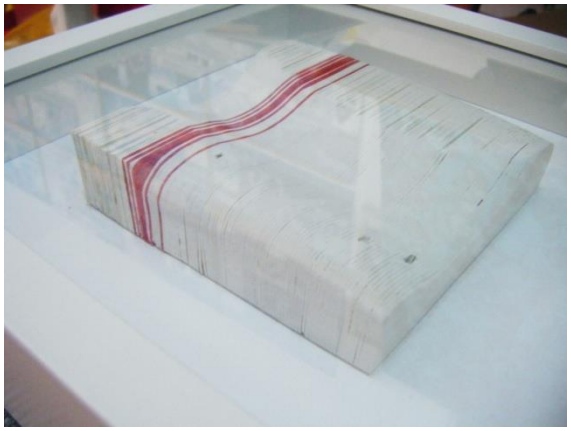


Figura 176. Simulación PC I. 25x25cm.
Fuente: elaboración propia

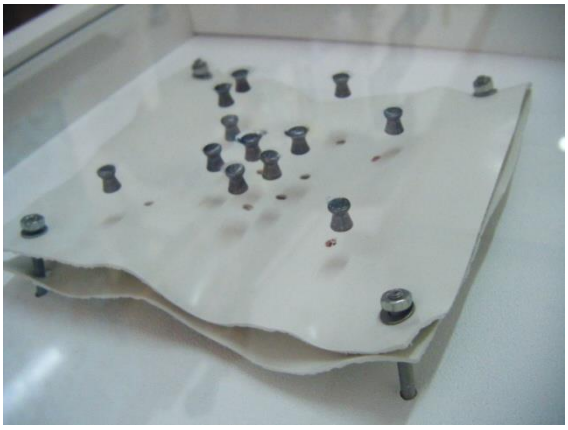


Figura 175. Simulación Doce 4, 25x25cm.
Fuente: elaboración propia

4.5.4.3 Fase de encolado

Una vez colocadas todas planchas de PVC de calandra en el orden en el que se iba a disponer como obra plástica, comenzamos a encolar las planchas en diferentes bloques. Para ello, se necesitó el apoyo de una escuadra de madera para que quedase lo más alienado posible dentro de nuestro alcance. Antes de encolar las planchas, adquirimos tres tipos de pegamentos para PVC rígido, decantándonos por el de la marca Wurth, ya que el proceso de secado es más lento y nos permitía deslizarnos con el pincel sin necesidad que quedarán grumos o burbujas tras el rápido secado. Esta operación conviene realizarla en espacios abiertos, puesto que este tipo de aditivos son bastante nocivos y perjudiciales para nuestra salud.

[56]El pegamento que empleamos es un adhesivo para tuberías de PVC rígido de la marca Wurth compuesto principalmente de ciclohexanona, butanona y tetrahidrofurano. Previamente realizamos varias pruebas con otros adhesivos para PVC rígido con diferentes tiempos de secado y con más viscosidad, pero optamos por el de la marca Wurh por su excelente fluidez y fácil adaptación. Además, actúa como soldador químico en frío y su rápida solidificación y transparencia hacen de este adhesivo una buena opción para este tipo de aplicaciones.

Gesco Plus

Wurth

Gamma

Tras elegir el pegamento necesario para PVC, nos pusimos a encolar la pieza por partes, mediante gatos de sujeción de diferentes tamaños y soportes planos de madera para no apretar el material de forma directa y para que la presión fuese uniforme en la parte central.

Figura 177. Fase de pegado mediante la utilización de gatos y escuadra
Fuente: elaboración propia

Tras disponer de todas las partes encoladas en bloques, los unimos todos y realizamos la misma operación de trabajo dejando la pieza secar 48 horas antes del proceso de mecanizado mediante control numérico computarizado (CNC).

Tras disponer de todas las partes encoladas en bloques, los unimos todos y realizamos la misma operación de trabajo dejando la pieza secar 48 horas antes del proceso de mecanizado mediante control numérico computarizado (CNC).

Figura 178. Bloque completo encolado
Fuente: elaboración propia

4.5.4.4 Máquina de control numérico computarizado

El control numérico computarizado (CNC) tuvo su origen en los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora. En esta época, los ordenadores no estaban muy avanzados y su tamaño incluso excedía al de la propia máquina.
Hoy en día, los ordenadores son cada vez más pequeños y compactos, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria como tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, etc.

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, un ordenador controla tanto la posición como la velocidad de los motores que realizan la acción. Gracias a esto, este sistema de trabajo permite ejecutar movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

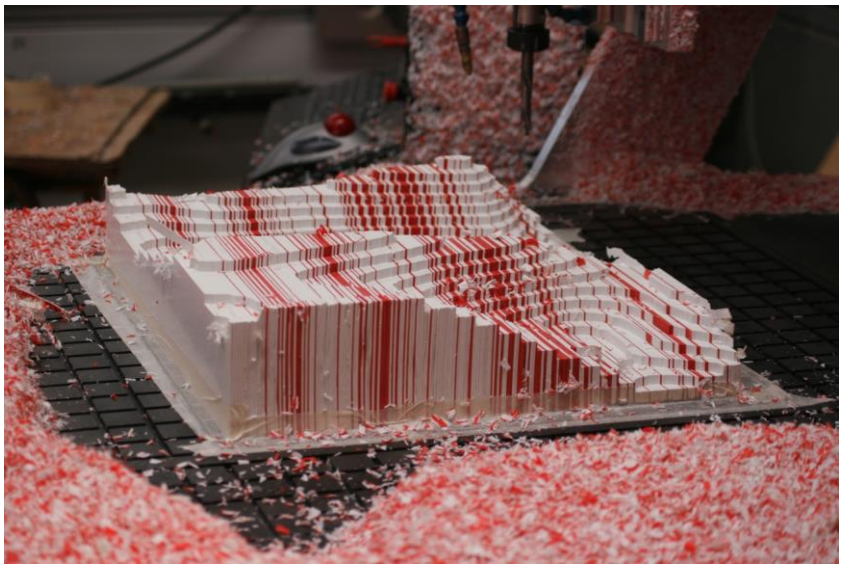


Figura 179. Proceso de desbaste. Fresa de 12mm
Fuente: elaboración propia

La máquina que utilizamos a lo largo de nuestra investigación fue una fresadora de *CNC SMB 25-14*, cuyo sistema de ejecución que genera el software de maquinado se llama ASPIRE CAD-CAM[57]. El sistema CAD (*Computer-Aided Design)* -diseño asistido por computadora- nos permite el diseño de las piezas en nuestro ordenador, y el sistema CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) -manufactura asistida por computadora-, es el que recoge la información de la figura dada, y genera una ruta de trabajo para que la herramienta la realice. A la hora de trabajar con este tipo de maquinaria, se requiere de herramientas concretas para cada uno de los acabados o terminaciones como son las fresas[58]. Para la ejecución de ésta primera pieza se emplearon dos tipos de fresas: una de 12mm para el desbaste que se realizó en dos horas, y otra de 8mm para el pulido final que tardo seis horas. Dependiendo del material de trabajo y su dureza, se emplearon distintas velocidades de corte y de avance, por eso cada fase tardó un tiempo determinado diferente, estableciendo la teoría de que a mayor dureza de soporte se necesita una mayor velocidad de corte, pero menor velocidad de avance por norma general.

[57] Este software dispone de una gran variedad de herramientas de edición y diseño en 2D, lo cual facilita el trabajo con modelos precargados en 2D como con modelos importados en 3D. A esto se le suma la posibilidad de crear piezas desde cero en 2D y 3D como logotipos tallados o decoraciones en muebles.
[58] Las fresas son herramientas de corte y grabado empleadas generalmente en máquinas de fresado o pantógrafos. Encontramos diferentes tipos y tamaños de fresas en función del material que vamos a cortar o grabar y del acabado que le queramos dar como fresas cónicas, esféricas, de compresión, etc.

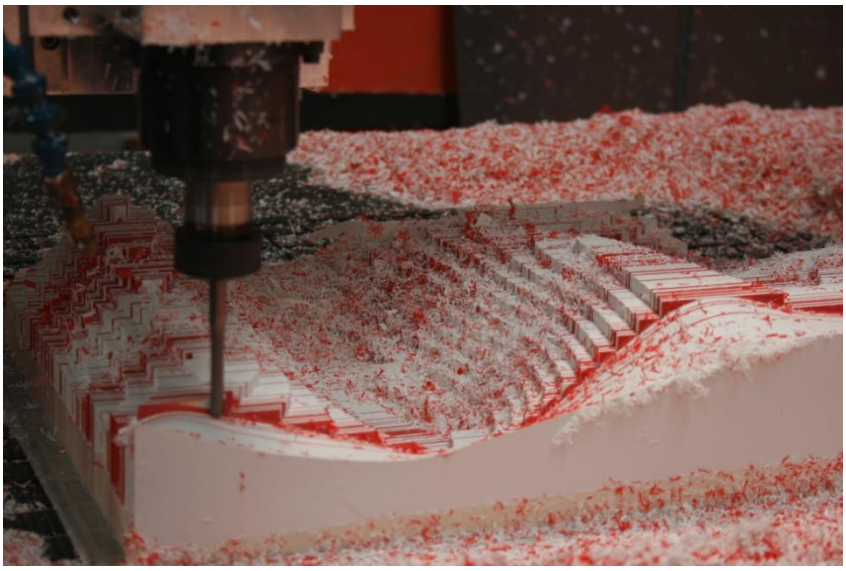


Figura 180. Proceso de pulido. Fresa de 8mm
Fuente: elaboración propia

4.5.4.5 Acabado final

Tras todo este largo proceso de corte, encolado y fresado, obtuvimos un resultado cuyo lenguaje versa entorno a los mapas topográficos por medio de líneas de color que dan lugar a curvas orgánicas que nos revelan la parte interna de nuestra figura.

Nuestra principal pretensión es la de experimentar las amplias posibilidades de este material, ya sea pintándolo, rallándolo o superponiéndolo. Dada la crisis en la que nos encontramos sumergidos, encontramos la posibilidad artística de este material como una nueva fuente de inspiración. Redacta de otra manera, no se entiende. Las líneas que superpuestas representan un volumen dinámico, solo pretenden salir a la luz, levantarse de ese socavón en el que se encuentran internas para alterar su uso cotidiano que es el de revestir superficies. En este caso, el PVC es el protagonista, él mismo es el que se auto-recubre y no necesita de nadie más que de su repetición para engrandecerse. Por medio de la deconstrucción se hace posible esta visibilidad interna que a su vez genera un vacío que es también otro motivo de representación.

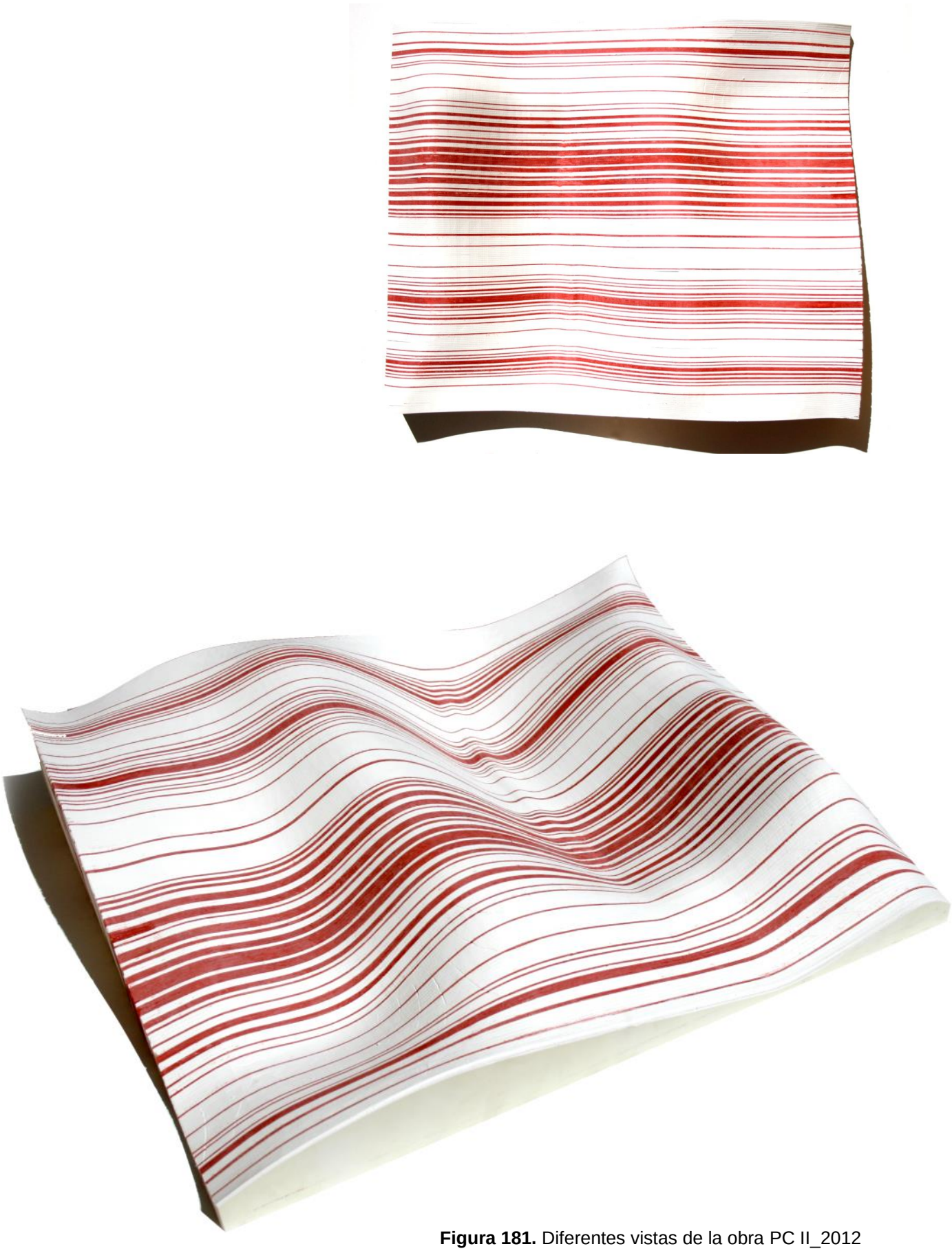


Figura 181. Diferentes vistas de la obra PC II_2012
Fuente: elaboración propia

La versatilidad de este material se expande hasta el punto de observar cómo se va modificando la obra a medida que la cambiamos de entorno y disposición. Anteriormente la hemos observado adquiriendo el rol de una pintura ya que la encontramos adosa a la pared y su entendimiento se contempla mediante un golpe de vista; pero al colocarle una peana, vemos como sobresale su carácter escultórico ya que por su envergadura y volumen hace que nos sintamos obligados a rodearla para verla en su conjunto.

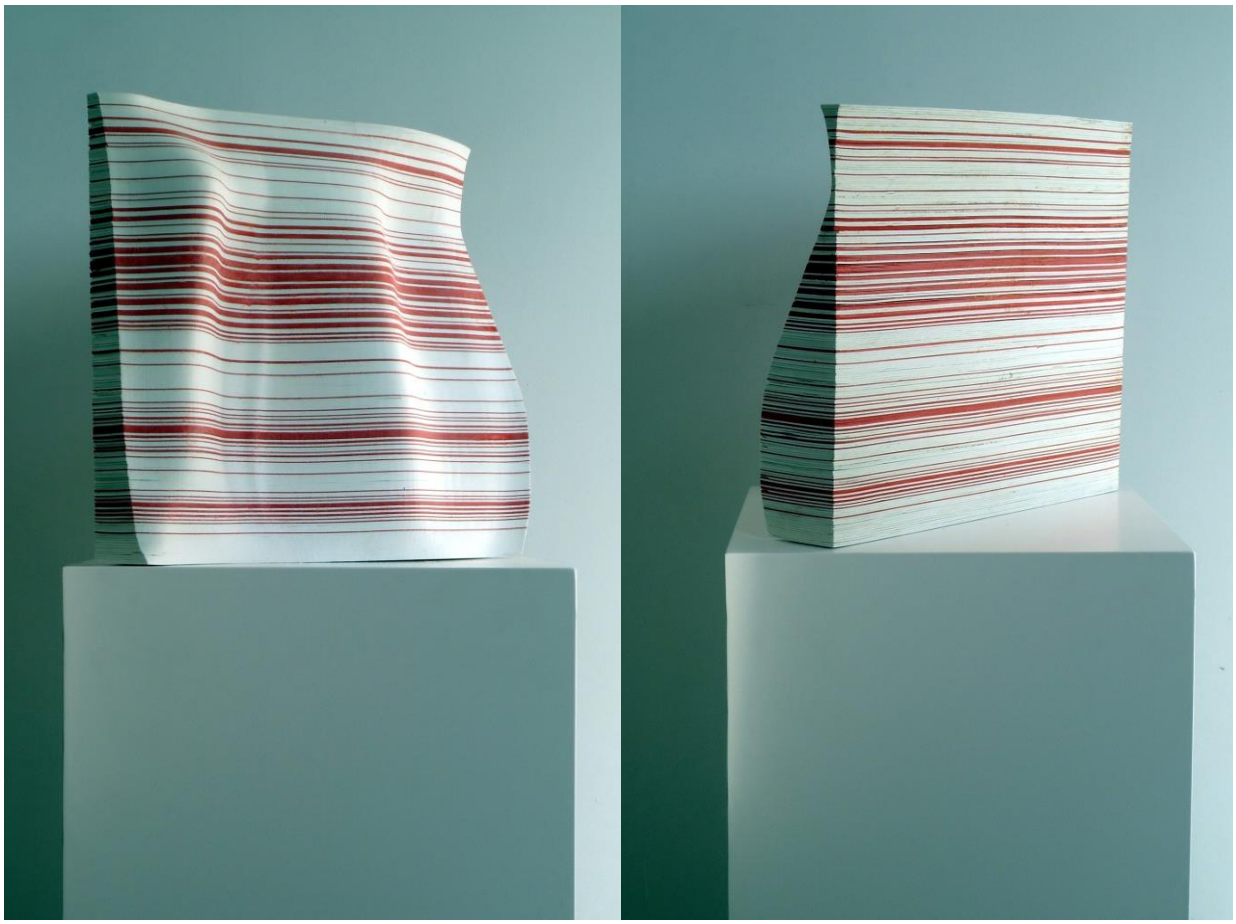


Figura 182. Obra final sobre peana PC II_2012
Fuente: elaboración propia

Las medidas como escultura de PVC de calandra son de 40x50x10cm. Al darle la vuelta a la pieza, vemos como la línea juega un papel importante ya que, al verla en la imagen de la derecha, parece una pintura vista de frente y las líneas horizontales son uniformes en cuanto a curvas de nivel; pero en cuanto la giramos, las líneas parecen cobrar vida, como si realizaran un recorrido aleatorio mostrando el proceso de realización mediante su deconstrucción.

4.5.5 Proveedores

SACOR MAQUINARIA

E-mail: sacor@sacor.es

Web: www.sacor.es

Tel: 968 83 78 37

Fax: 968 83 78 45

Dirección: Carril de Alejandrico, 79, Nave 2, 30.570, Beniaján, Murcia.

CANTISA

E-mail: cantisa@cantisa.es

Web: www.cantisa.es

Tel: 96 159 72 42

Fax: 96 159 72 43

Dirección: Calle Pintor Joaquín Sorolla, 8, Polígono Industrial Ciudad Mudeco, 46930, Quart de Poblet, Valencia, España.

MUEBLES SANTO TOMÁS

E-mail: commercial@santotomas-sa.com

Web: www.santotomas-sa.com

Tel: 968 333 013

Fax: 968 591 646

Dirección: Ctra. La Pinilla, Km. 0.8, 30870, Mazarrón, Murcia.

OMAR COATINGS S.A.

E-mail: omar@omar.es

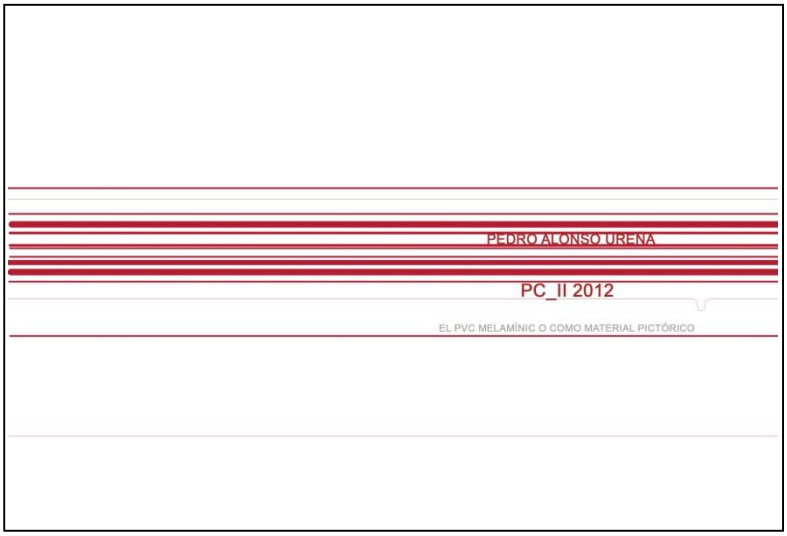
Web: www.omar.es

Tel: 96 120 3284

Fax: 96 121 1670

Dirección: Av. Alicante 14, 46460 Silla, Valencia, España.

4.5.6 Tarjetería de exposición



4.5.7 Disposición dentro de un emplazamiento artístico

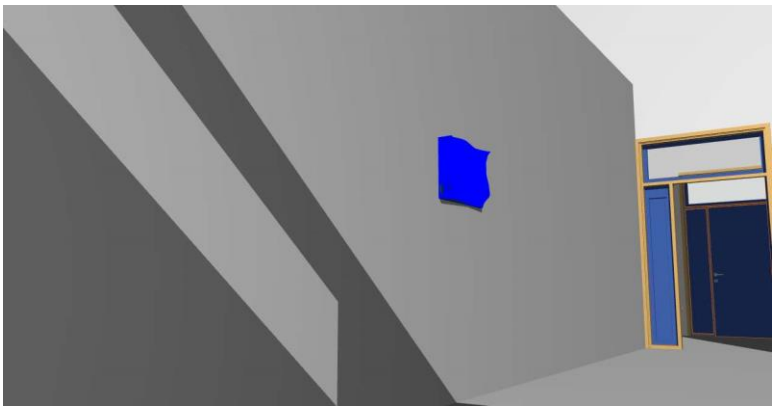


Figura 183. Render 1 de la obra en un emplazamiento artístico
Fuente: elaboración propia

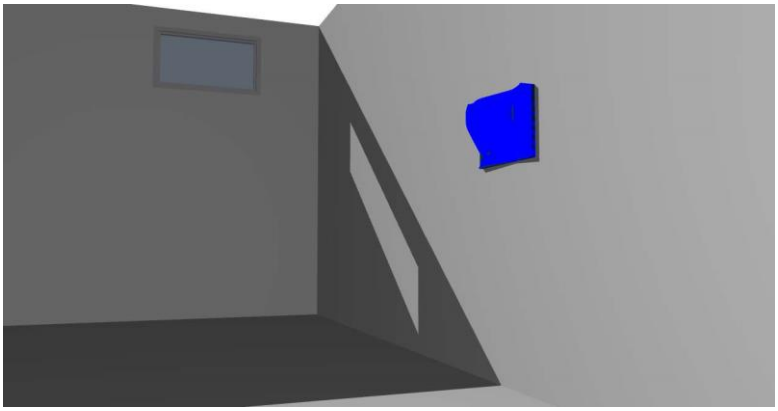


Figura 184. Render 2 de la obra en un emplazamiento artístico
Fuente: elaboración propia

Figura 185. Plano cenital de la sala expositiva
Fuente: elaboración propia

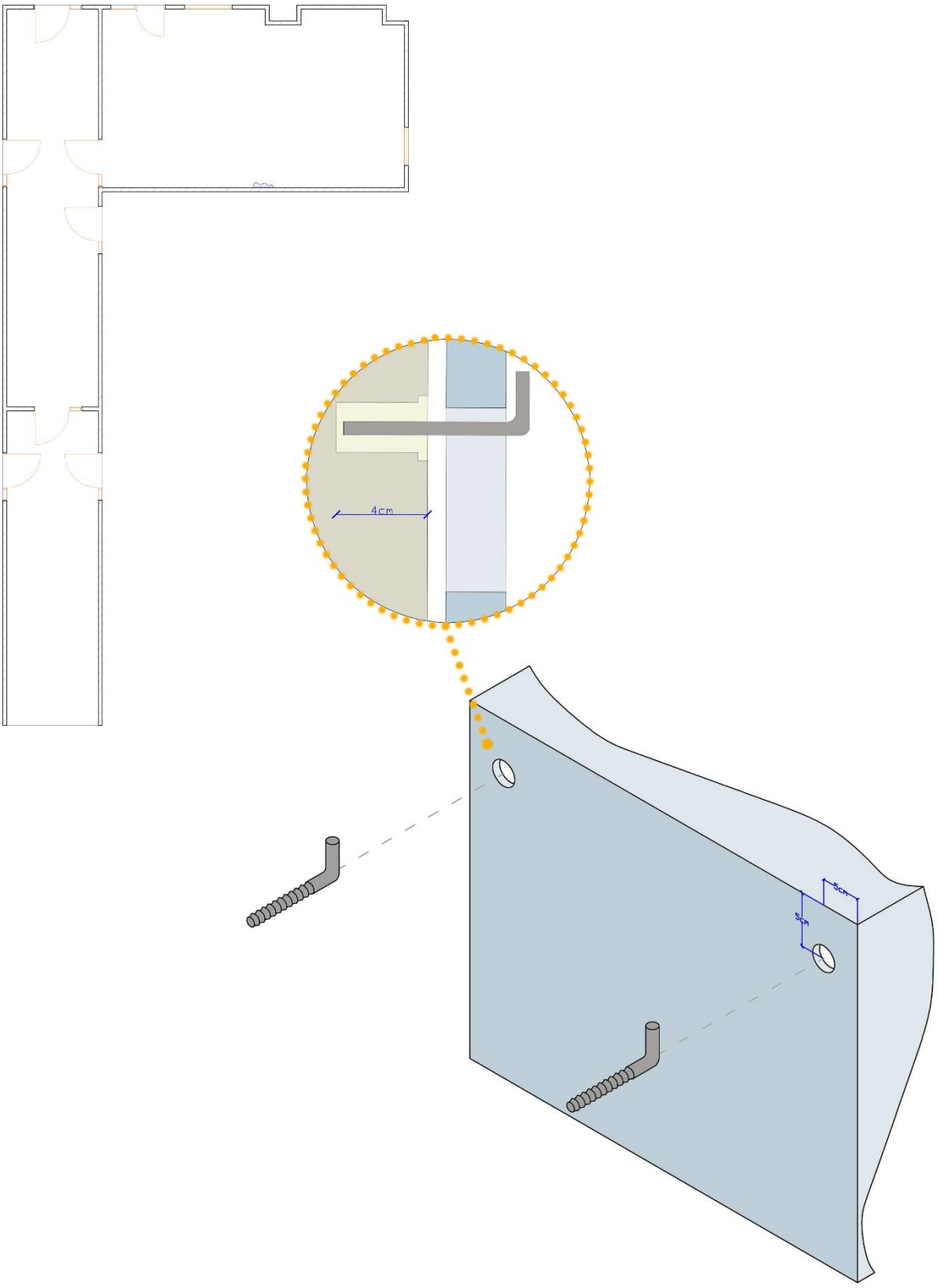
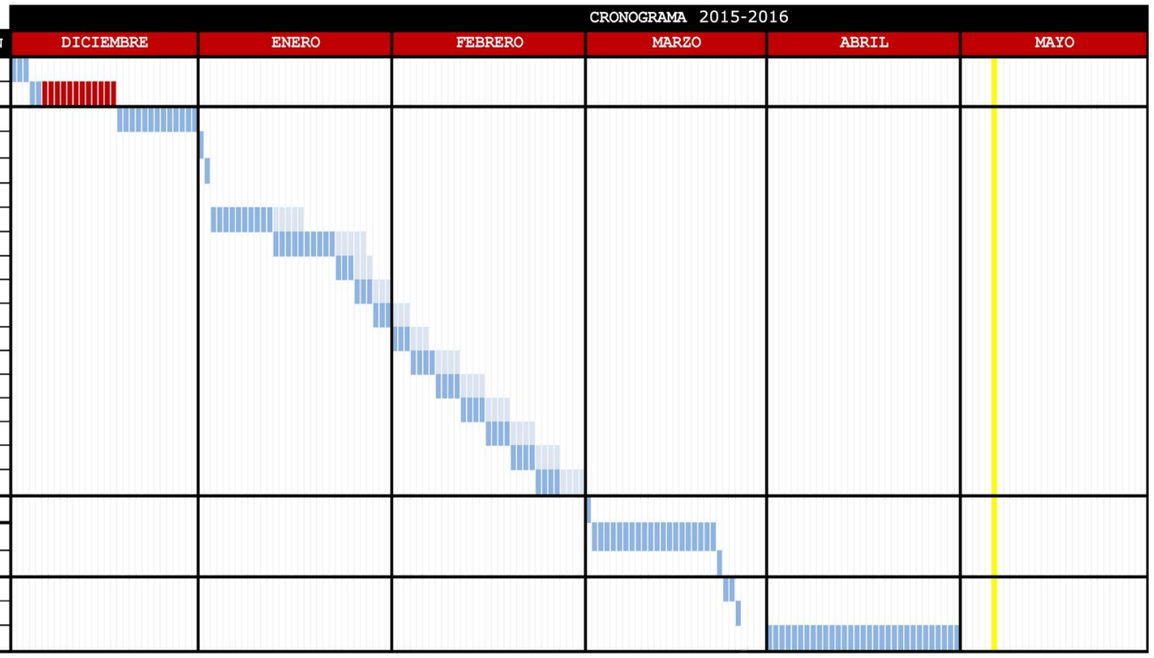


Figura 186. Detalle del sistema de sujeción
Fuente: elaboración propia

4.6 TEMPORALIZACIÓN DE LAS TAREAS Y FASES DEL TRABAJO

FASES	TAREAS		DURACIÓN
Fase 1: Análisis y material del proyecto	1.1 Analisis del Proyecto		3 dias
	1.2 Pedido del pvc espumado y el pegamento		2 dias
Fase 2: Proceso creativo de las obras	2.1 Realización del corte del pvc espumado		13 dias
	2.2 Recogida del material ya cortado		1 dia
	2.3 Recogida del pegamento		1 dia
	2.4 Encolado de las piezas		
	2.4.1 Morfotipo 1	Pieza 1	15 dias
		Pieza 2	15 dias
	2.4.2 Morfotipo 2	Pieza 1	6 dias
		Pieza 2	6 dias
		Pieza 3	6 dias
		Pieza 4	6 dias
	2.4.3 Morfotipo 3	Pieza 1	8 dias
		Pieza 2	8 dias
		Pieza 3	8 dias
		Pieza 4	8 dias
	2.4.4 Morfotipo 4	Pieza 1	8 dias
		Pieza 2	8 dias
Fase 3: Fresado computerizado	3.1 Entrega de las piezas y explicación del proceso		1 dia
	3.2 Fresado mediante control numérico computerizado		20 dias
	3.3 Recogida de las obras		1 dia
Fase 4: Montaje expositivo	4.1 Distribución de las obras en el espacio expositivo		2 dias
	4.2 Iluminación		1 dia
	4.3 Exhibición del proyecto		30 dias



Periodo de realización
Periodo de secado
Trascurso del pedido
Finalización del proyecto

4.7 EL PVC ESPUMADO COMO ALTERNATIVA DE SOPORTE

Esta primera experiencia a partir del PVC de calandra, despertó nuestro interés en la investigación con soportes laminados mediante acumulación tipo “sándwich”. La experiencia adquirida en los ensayos plásticos desarrollados en estos últimos años ha sido felizmente trasladada a otros materiales como el PVC espumado o la fotografía. La reducción cromática al blanco y negro, una mayor velocidad de fresado y una amplia diversidad de grosores en el laminado, han sido incorporadas en nuevos ensayos plásticos, alcanzando una verdadera y sincera plenitud expresiva.

Como partimos del mismo proceso de realización que las piezas conseguidas con el PVC de calandra, estableceremos una pequeña muestra a modo de resumen, para así, poder comparar y observar con nitidez las diferencias de acabados alcanzados con el PVC espumado respecto a los primeros trabajos realizados con PVC de calandra. La parte inicial del proceso de digitalización con Rhinoceros oscila en una amplia variedad de formatos resaltando el concepto de picto-escultura al conseguir resultados con formatos cúbicos. Estos, adquieren un lenguaje escultórico al disponerse sobre peanas y en volúmenes adosados a la pared en los que la línea pictórica cobra movimiento gracias a las curvas de la propia sección.

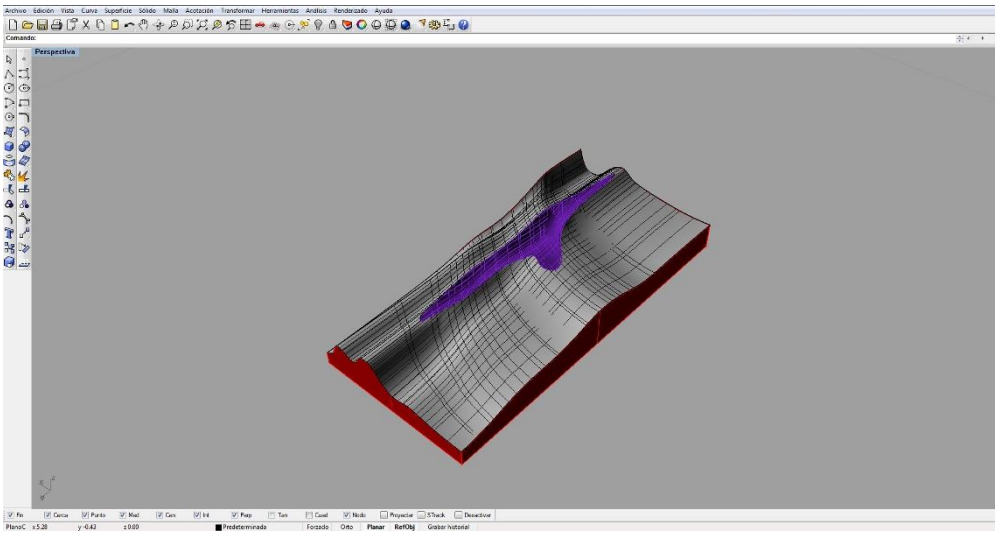


Figura 187. Diseño con Rhinoceros del resultado final de una pieza adosada a la pared.
Fuente: elaboración propia

El predominio de curvatura cóncava y convexa, hace que la linealidad generada por la acumulación de planchas de PVC espumado, creen movimiento en

función de la ubicación del espectador. Por eso, este tipo de piezas adosadas a la pared requieren de una visualización desde varios ángulos para un mayor entendimiento. Las otras piezas dispuestas sobre peanas también parten de la idea de generar movimiento e ilusiones ópticas. Su aspecto cúbico condiciona su percepción, haciendo que ciertos puntos de vista de la obra impidan tener una visión total del fresado realizado, por lo que se hace necesaria la participación activa del espectador que, al rodear la obra, podrá contemplar el movimiento de las líneas y el ritmo que son capaces de crear. Así, la deconstrucción fragmentada realizada, nos muestra como resultado el vacío generado mediante el fresado, y este, a su vez nos abre el camino al movimiento del color.

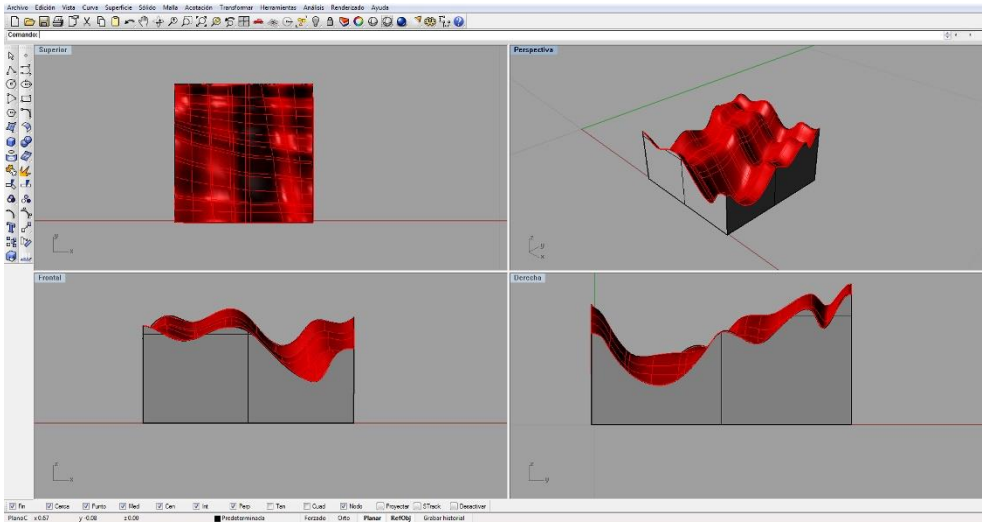


Figura 188. Distintas vistas del diseño con Rhinoceros de una pieza sobre peana
Fuente: elaboración propia

Al tener realizado el diseño de todas las piezas en 3D, contemplamos siempre la visualización de las obras mediante el apoyo de renders[59] que nos facilitaran un acercamiento con el resultado final, así como la disposición de las mismas en el marco expositivo.

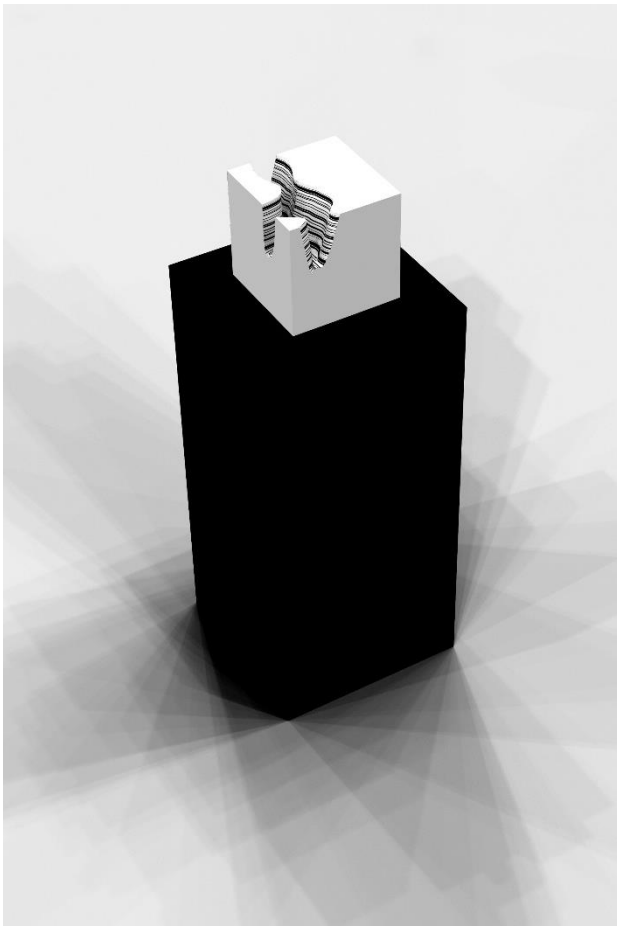
Respecto a la utilización del PVC espumado en puesto del de calandra influyeron varios factores como:

- Menor peso, ya que al ser espumado es más ligero y facilita su montaje.

[59] Los renders son apoyos visuales que se generan partiendo de un modelo digital con el fin de recrear la realidad desde cualquier perspectiva. El uso de texturas, materiales como plásticos, madera, metales, etc. o distintas iluminaciones, simularán esa apariencia de realidad obteniendo como resultado una imagen fotorrealista.

- Mejor formato de trabajo. Al venir presentado en planchas de diferentes medidas, no tenemos el problema de la curvatura para la realización del corte y encolado.
- Mejor corte y acabado. El corte es más agradecido y no astilla como el de calandra, provocando irregularidades en la pieza.
- Menos horas de CNC ya que al ser más blando la fresa desbasta más rápido.

Pero también encontramos algunas desventajas, aunque fueron mínimas, como la porosidad de los cantos o la fácil marcación, por lo que estimamos la posibilidad de buscar imprimaciones que no fuesen absorbidas a la par que no alterasen el color.



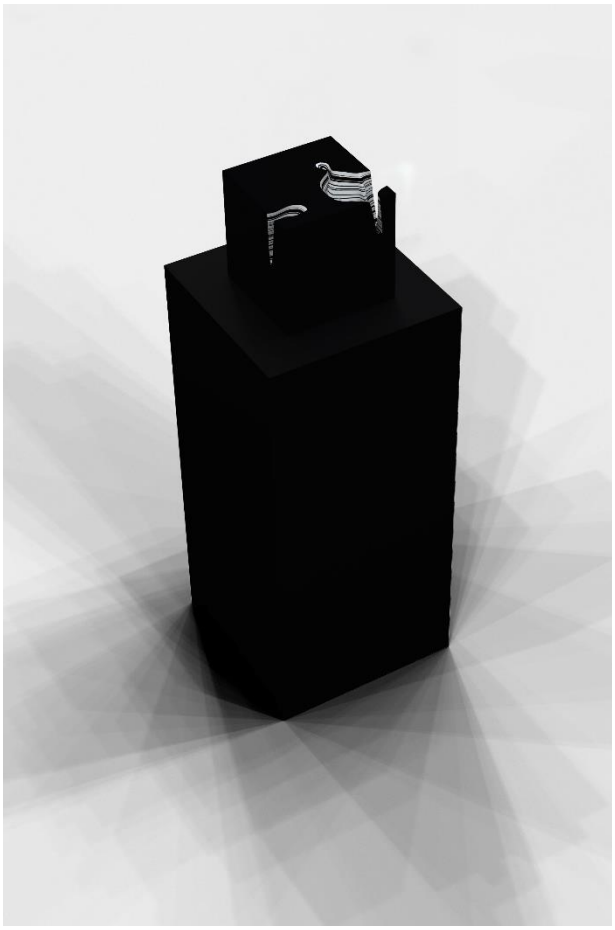


Figura 189. Serie de renders de distintas piezas
Fuente: elaboración propia

Figura 190. Proceso de fresado mediante CNC
Fuente: elaboración propia

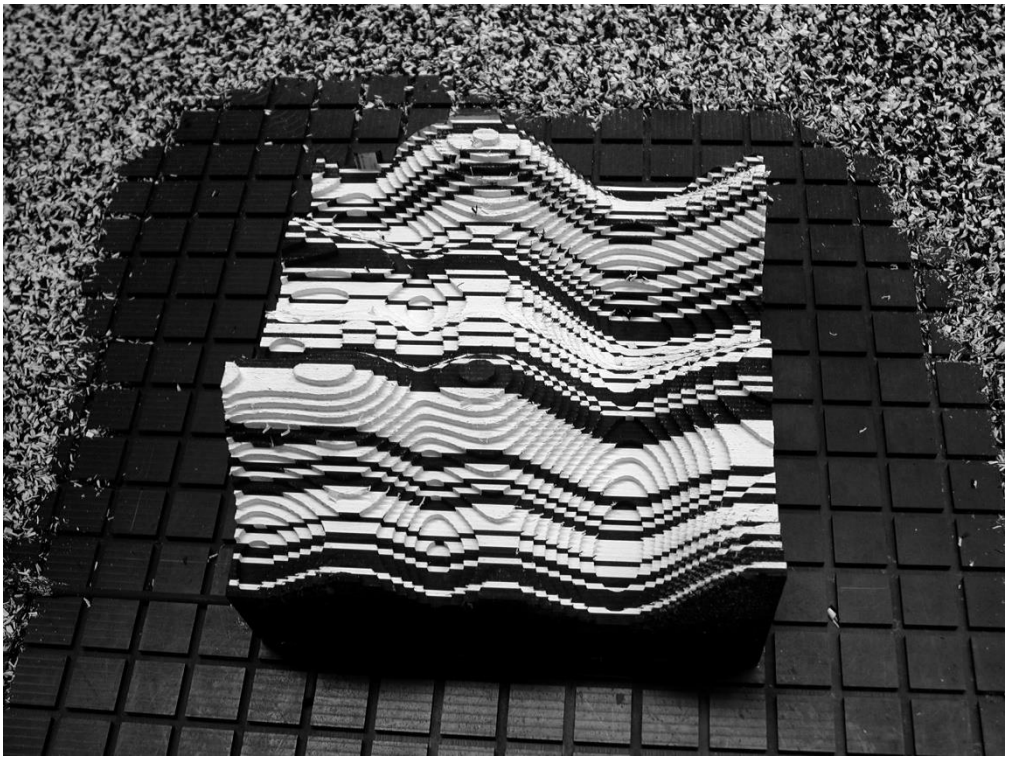


Figura 191. Resultado tras la primera parte de fresado. Fase de desbaste
Fuente: elaboración propia

4.8 EJEMPLOS DE MATERIALIZACIÓN DE LAS PIEZAS

Figura 192. PCI_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 33 x 29 x 5cm. Colección del artista, España.

Figura 193. PCII_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 33 x 29 x 5cm Colección del artista, Francia

Figura 194. PCIII_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 33 x 29 x 5cm. Colección del artista, España

Figura 195. PCIV_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 33 x 29 x 5cm. Colección del artista, España

Figura 196. PCV_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 33 x 29 x 5cm. Colección del artista, España

Figura 197. PCV_2014
Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 33 x 29 x 5cm. Colección del artista, Francia

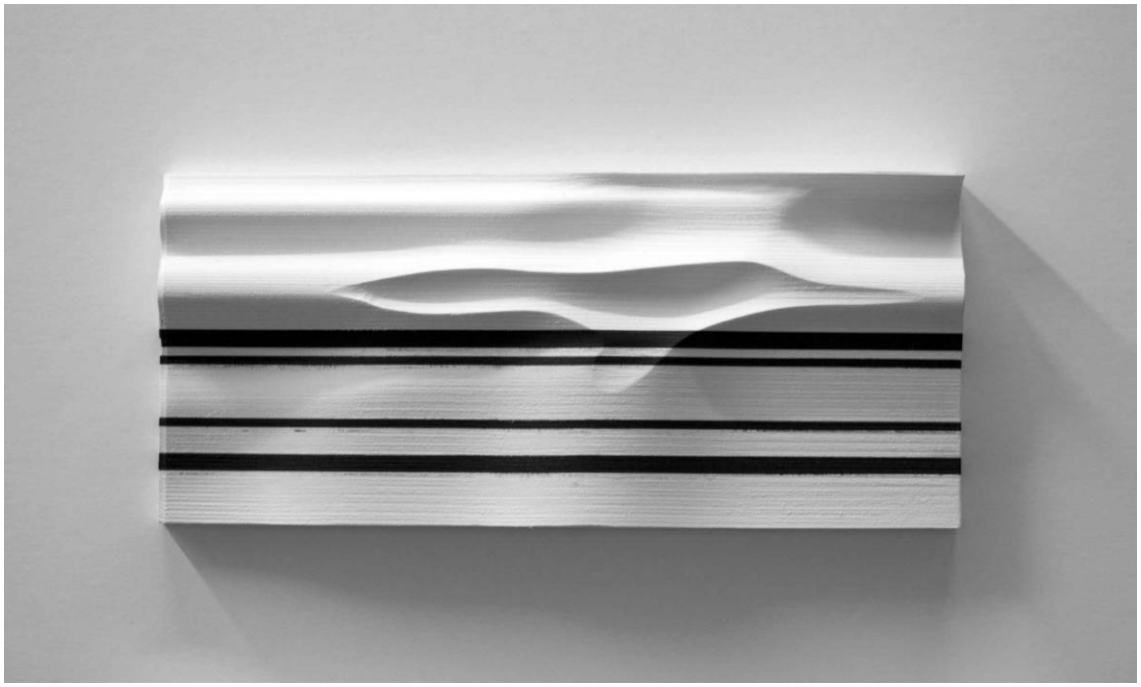


Figura 198. PCI.NOIR_2014 / PCI.BLANC_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 43 x 27,5 x 5cm. Colección del artista, España

.

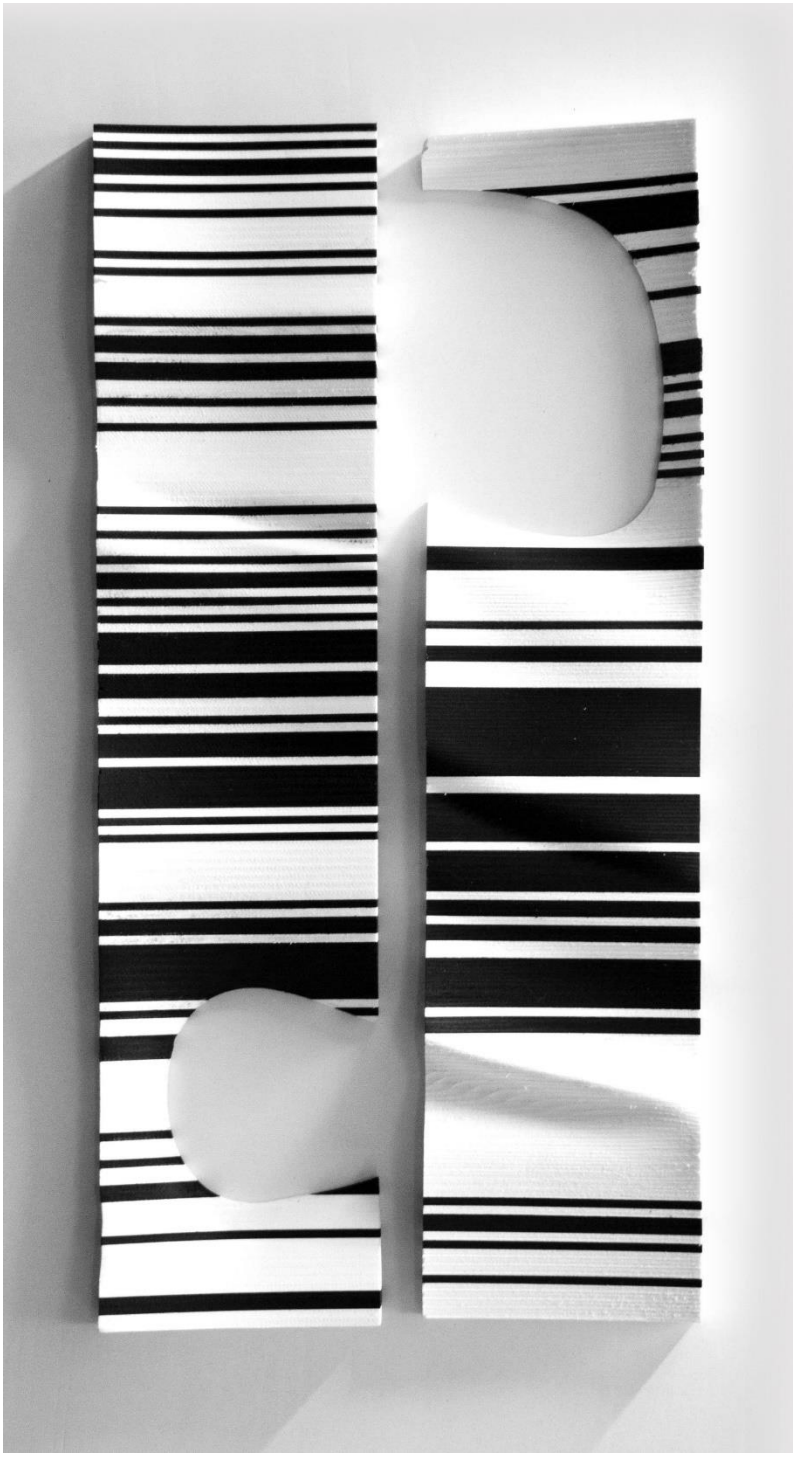
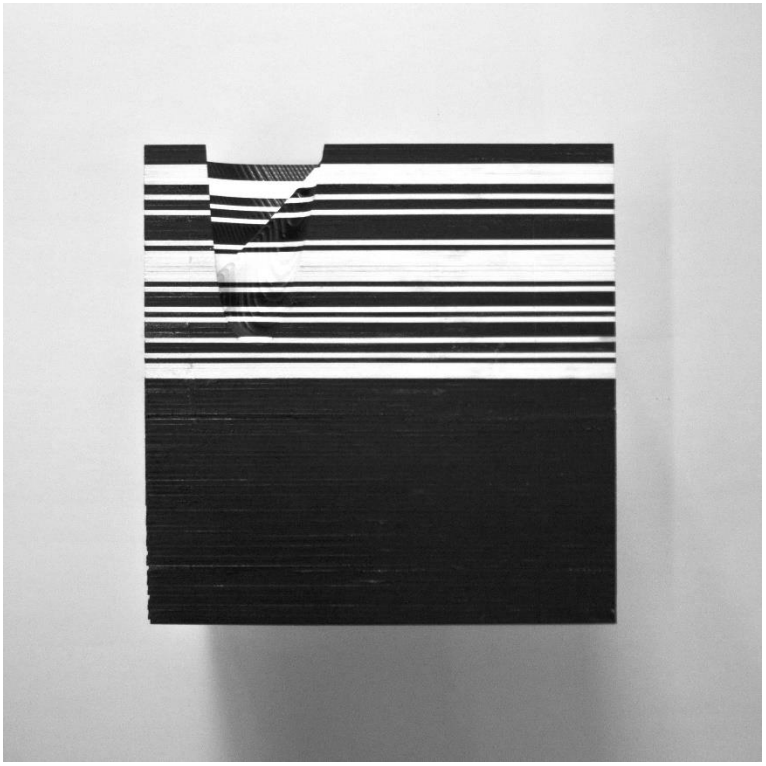


Figura 199. PC DOUBLE_2014
Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 37 x 58 x 5cm. Colección del artista, España



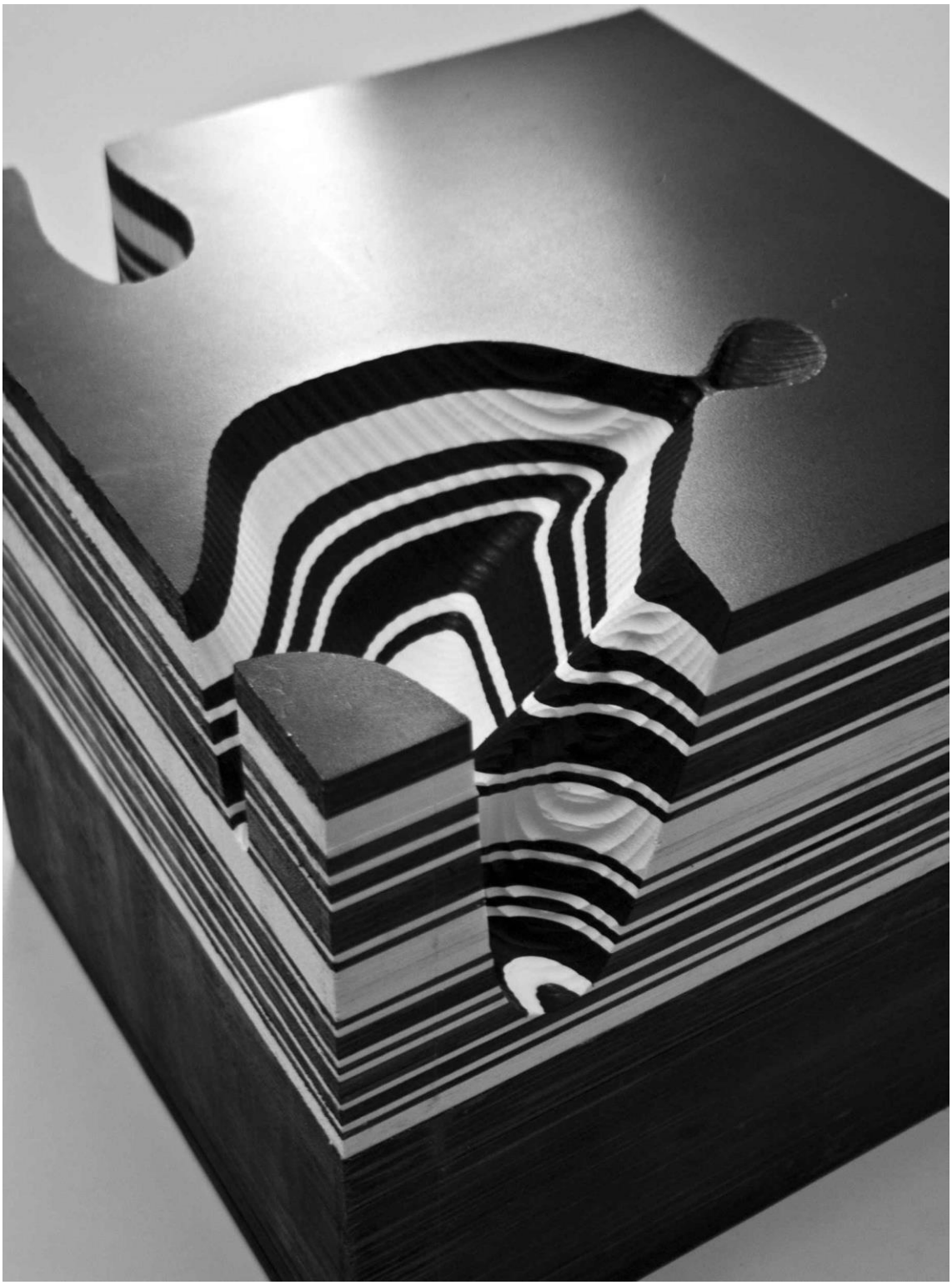
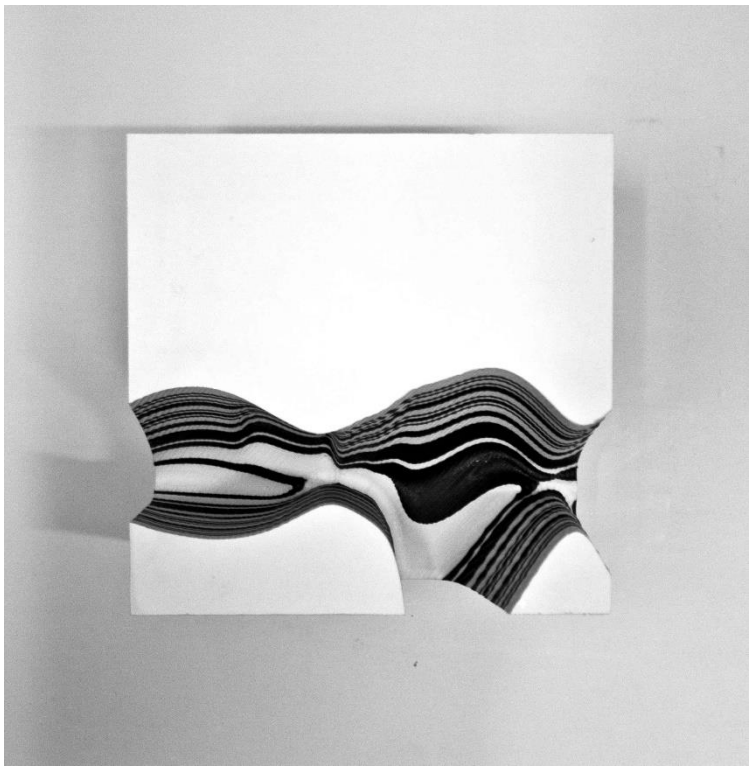
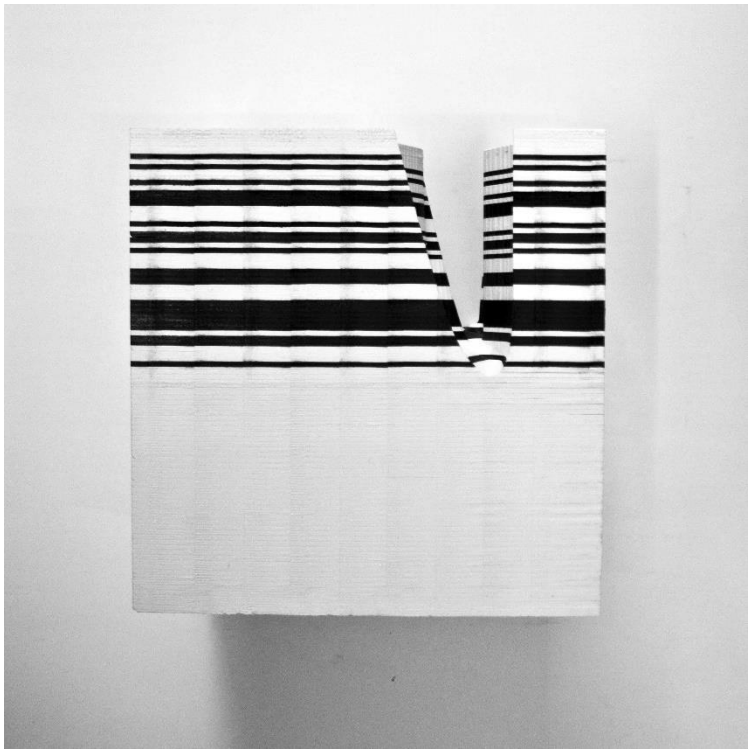


Figura 200. CUBENOIR_2014

Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 28 x 28 x 28cm
Colección del artista, España





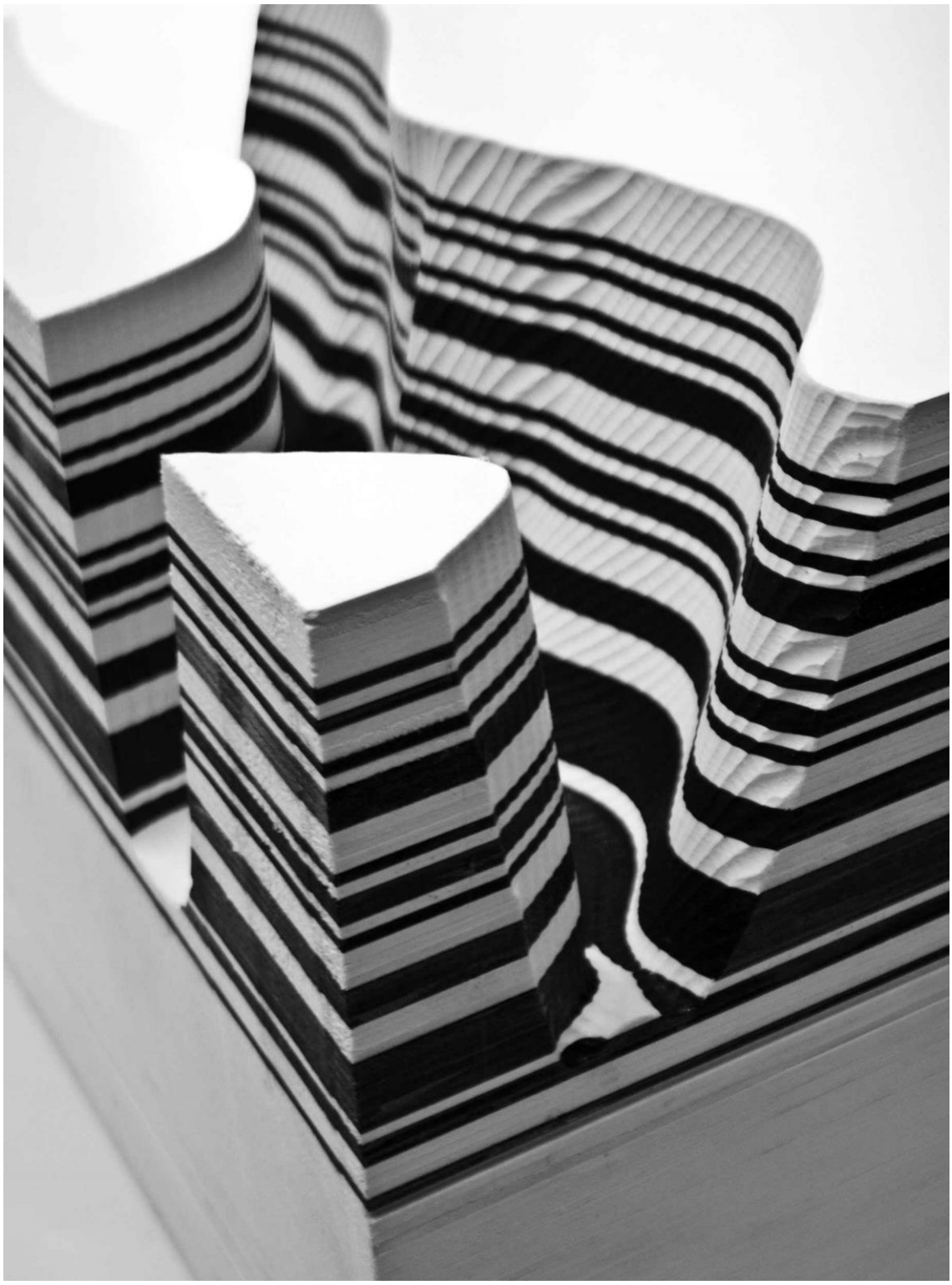


Figura 201. CUBEBLANC_2014

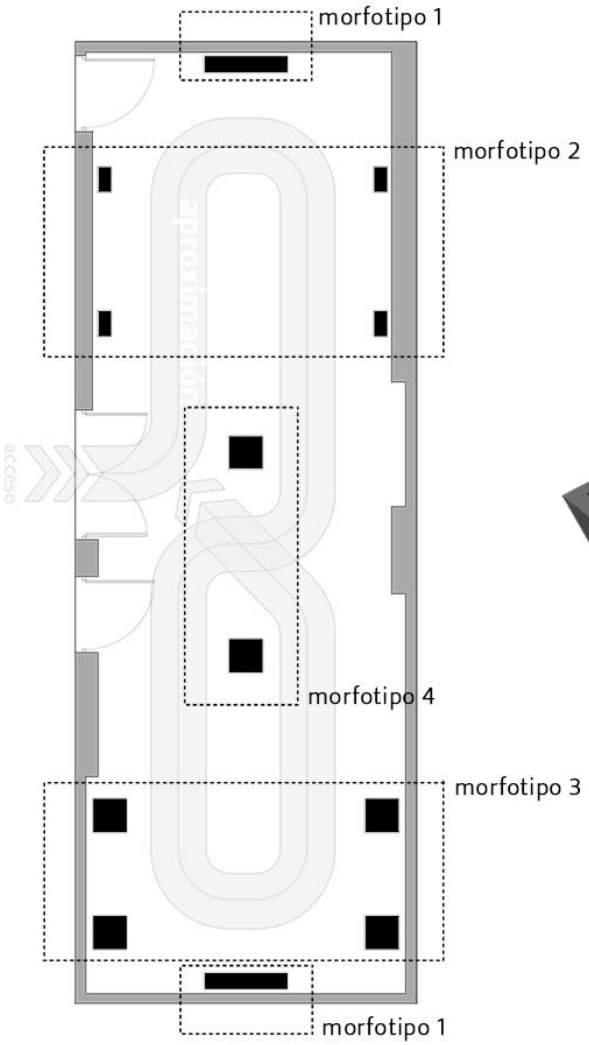
Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 28 x 28 x 28cm.
Colección del artista, España

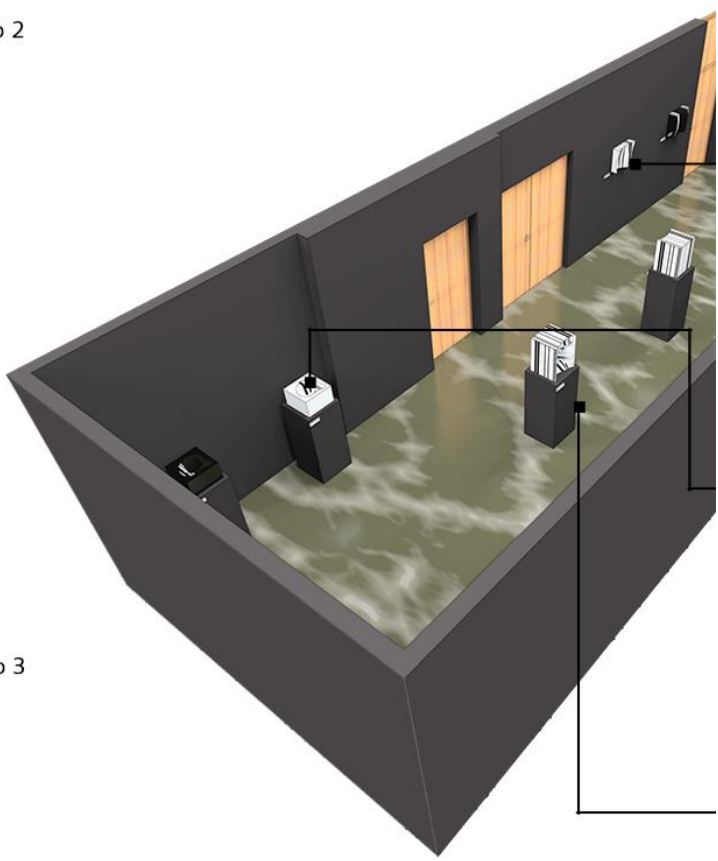
Figura 202. PC COURBE I_2014
Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 28 x 28 x 17cm. Colección del artista, España

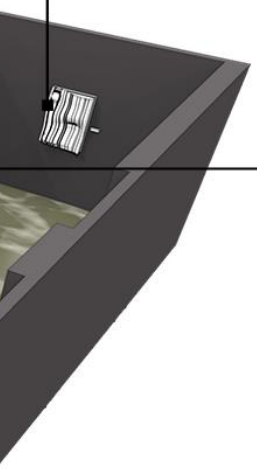
Figura 203. PC COURBE II_2014

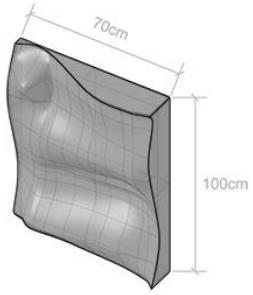
Pedro Alonso, 2014. PVC espumado, encolado y fresado mediante CNC. 28 x 28 x 17cm.
Colección del artista, España

4.9 PROPUESTA EXPOSITIVA Y PARTICIPACIÓN EN CERTÁMENES


morfotipo 1
morfotipo 2
morfotipo 4
morfotipo 3
morfotipo 1
acceso

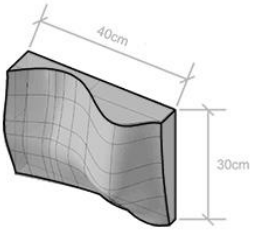






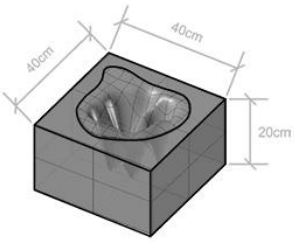
morfotipo 1

Es el más amplio dimensionalmente, mide 100x70x15cm y va adosado a la pared. En este caso el sismtema de sujeción consta de cuatro apoyos puesto que su envergadura lo requiere. En cuanto al color, es común en todos los morforipos ya que iría en blanco y negro, predominando el blanco en este caso. Encontraríamos dos obras de este tipo en la sala.



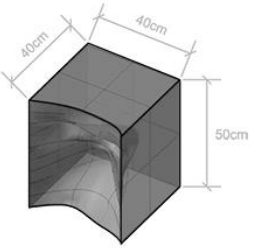
morfotipo 2

No es tan amplio como el 1, midiendo 30x40x15cm pero también estaría dispuesto en la pared. En cuanto a la sujeción, con dos apoyos sería suficiente puesto que el peso es inferior a la anterior. En este morfotipo, la linealidad de las figuras es horizontal y observaríamos cuatro obras enfrentadas. La particularidad de este morfotipo es que funcionaría tanto en pared como en peana.



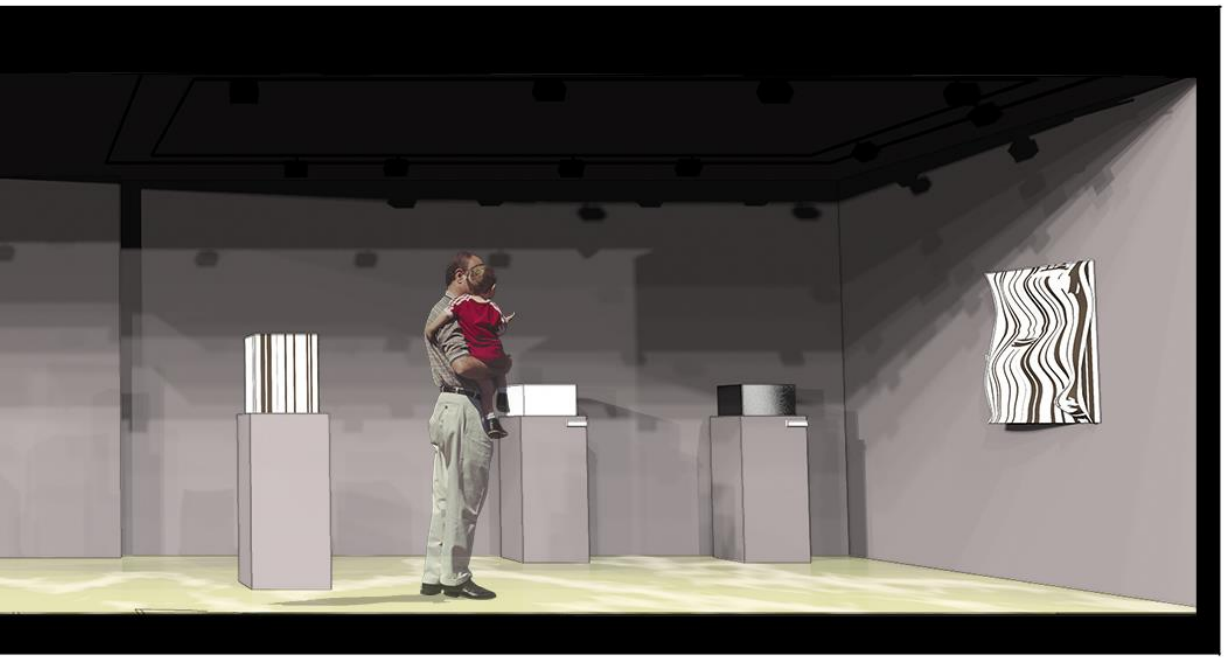
morfotipo 3

Mide 20x40x40cm y lo encontramos descansando sobre una peana negra, adquiriendo un rol planamente escultórico. La sujeción de este morfotipo sería su simple apoyo puesto que su composición centralizada hace que el peso recaiga por todos sus lados con la misma presión. El material esta dispuesto de forma horizontal y a su vez, habrían cuatro obras como el morfotipo 2.

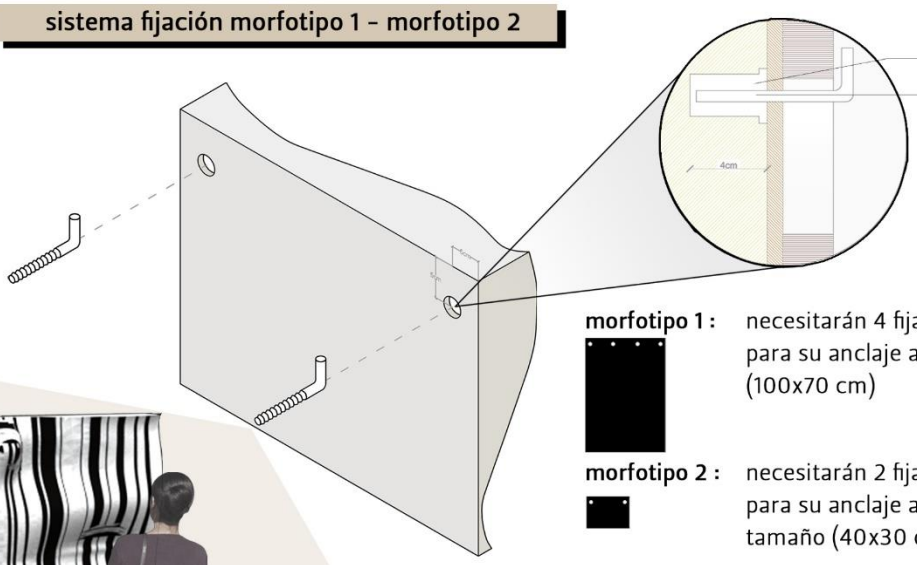


morfotipo 4

Su dimensión volumétrica es de 50x40x40cm y también se apoya en una peana.La línea de estas dos piezas tiende a ser vertical y su composición obliga al espectador a rodear la figura para poder entenderla puesto que están colocoadas de tal forma que las curvaturas de la obra quedan ocultas, puesto que solo una de sus caras tiene estos desniveles.

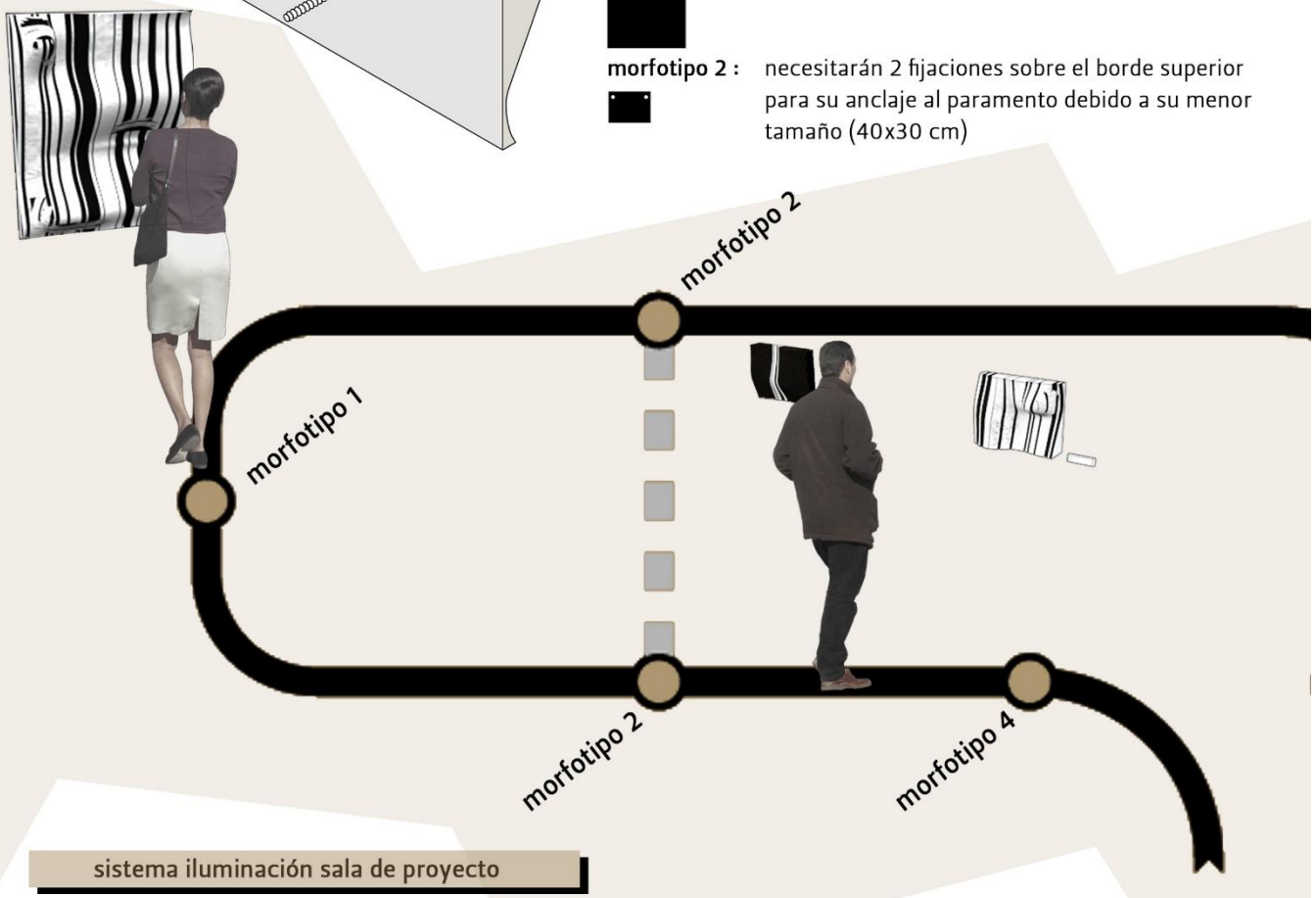


sistema fijación morfotipo 1 – morfotipo 2



morfotipo 1 : necesitarán 4 fijaciones sobre el borde superior para su anclaje al paramento debido a su tamaño (100x70 cm)

morfotipo 2 : necesitarán 2 fijaciones sobre el borde superior para su anclaje al paramento debido a su menor tamaño (40x30 cm)



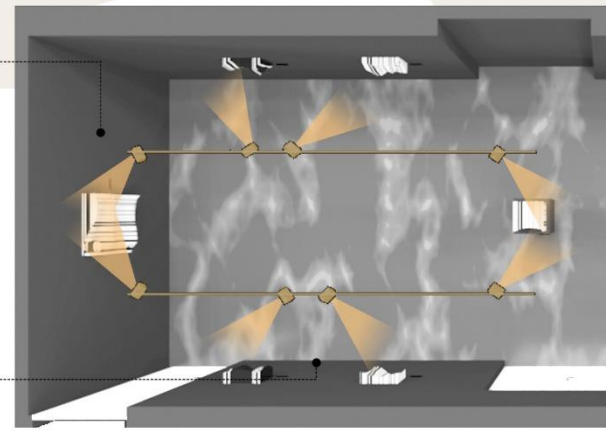
sistema iluminación sala de proyecto

morfotipo 1

Dos focos incidiendo de forma oblicua y enfrentada sobre cada pieza, generando sombras en dos direcciones.

morfotipo 2

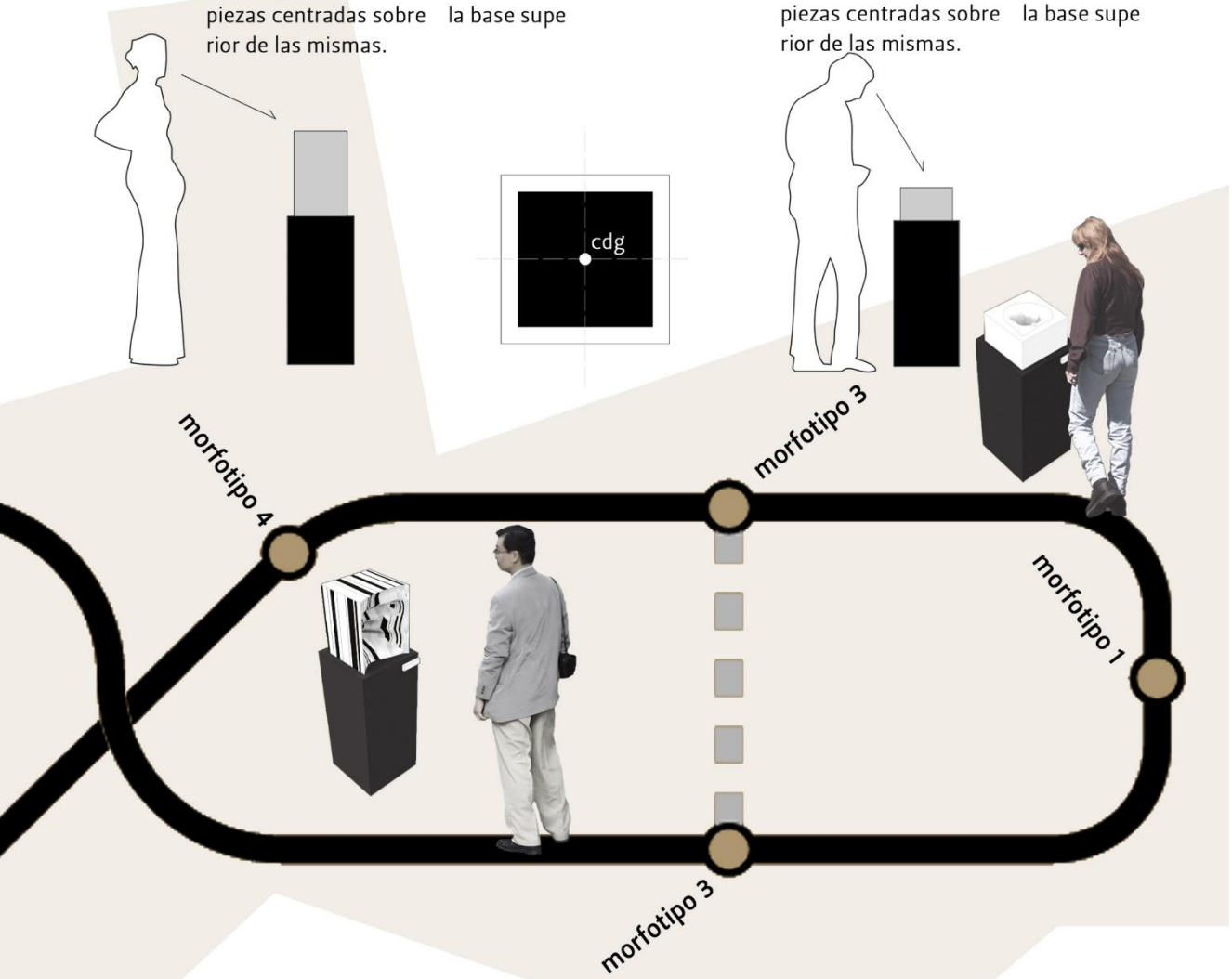
Un foco por pieza, incidiendo de forma oblicua, generando sombras en una sola dirección.

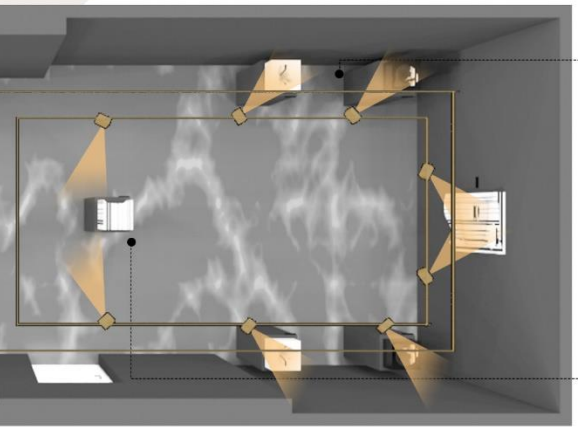


sistema fijación morfotipo 3 - morfotipo 4

morfotipo 4 : realizadas para su visualización lateral, se situarán sobre peanas de 1 metro de altura aproximadamente, colocando las piezas centradas sobre la base superior de las mismas.

morfotipo 3 : realizadas para su visualización cenital, se situarán sobre peanas de 1 metro de altura aproximadamente, colocando las piezas centradas sobre la base superior de las mismas.





morfotipo 3

Un foco por cada una de las piezas, incidiendo de forma oblicua sobre la peana, generando sombras sobre el plano superior de los cubos.

morfotipo 4

Dos focos enfrentados en cada una de las piezas, incidiendo tangencialmente sobre dos de sus caras opuestas.

La elaboración de este tipo de piezas, empleando nuevos materiales como soporte artístico, siempre estuvo ligada con la participación en concursos artísticos, para así poder darle una mayor difusión y plantearnos el desarrollo de exposiciones tanto individuales como colectivas.

Esta primera parte de nuestro trabajo enfocada a la idea de la deconstrucción en relación a las máquinas de control numérico computarizado (CNC), es un proyecto que tuvimos la suerte de poder concluir mediante una exposición individual en el Hotel Nelva de Murcia. Antes de la realización de la misma, todas nuestras pruebas iniciales fueron dando sus frutos mediante accésit en certámenes como “Minicuadros” en Elda (Alicante) o en “Creajoven” y a posteriori “CreaMurcia” en dicha región. La idea general de este tipo de proyectos expositivos es mostrar las piezas en todos los ámbitos posibles como fue el caso de “La noche de los investigadores 2014” y en “La semana de la ciencia 2014” celebradas respectivamente en el Cuartel de Artillería y en el Paseo del Malecón de Murcia. Algunos de los resultados de nuestra investigación también tuvieron repercusión en otros ámbitos de divulgación artística y cultural, tales como:

- ACCÉSIT en *XXXIII Certamen de Minicuadros*, Elda, Alicante. Exposición colectiva en el Museo del Calzado de Elda, 2012.
- Exposición colectiva Centro de Cultura de Petrel, *XXXIII Certamen Minicuadros, 2012.*
- ACCÉSIT en la convocatoria de artes plásticas, *XX Creajoven*, exposición colectiva en el LAB, Murcia, 2012.
- Exposición colectiva de las obras premiadas en *XX Creajoven*, Molinos del Río, Murcia, 2012.
- Exposición *“Nuevas poéticas para nuevos materiales “,* selección de ensayos plásticos periodo 2008-2012, facultad de BBAA de Murcia, 2013.
- Exposición colectiva *Nuevos materiales en el arte* en “La noche de los investigadores”, coordinada por el vicerrectorado de Cultura Científica y Promoción de la Investigación de la Universidad de Murcia. Patio de armas del cuartel de artillería, 2013.
- Exposición individual, *Noir et Blanc* en el Hotel Nelva, Murcia, 2014.
- ACCÉSIT en la convocatoria de artes plásticas, *XXIII CreaMurcia, exposición colectiva en el LAB*, Murcia, 2015.

- Exposición colectiva de alumnos de los trabajos realizados en la *Segunda Semana de la Escultura* en el Centro Universitario de Artes, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, 2015.
- Exposición alumnos de máster, *Exposición Colectiva Máster* en la facultad de Bellas Artes de la Universidad de Murcia, 2015.
- Exposición de obras premiadas en “Creamurcia” en Puertas de castilla, Murcia, 2015.
- Ponencia en el ciclo “Miradas Cercanas” titulada *Del realismo a la abstracción partiendo del color como punto de partida*, en Cendeac, Murcia, 2016.

Estos espacios expositivos de nuestro trabajo, nos han permitido tener otro punto de vista y sobre todo un contacto más directo con el espectador de las obras, que nos abre nuevas perspectivas a la hora de dar continuidad a nuestro trabajo. De este modo, las primeras pruebas realizadas en nuestro proyecto, han ido incorporando novedades que paulatinamente se antojaban como necesidades recogidas en cada una de las exposiciones mencionadas. Por otra parte, el interés despertado por críticos y expertos en arte en los distintos certámenes en los que hemos participado, nos ha servido de estímulo para continuar con el trabajo iniciado, abriéndonos el camino a nuevas investigaciones, planteamientos y métodos de desarrollo plástico aplicables en un futuro.

Así, las distintas pruebas, con sus ensayos y errores, la continua incorporación de diferentes terminaciones, acabados, pulidos, enmarcaciones o disposiciones en el propio emplazamiento expositivo, nos han permitido acumular las suficientes experiencias como para poder afrontar el trabajo artístico con un sentido de madurez creativa. A continuación, mostraremos algunos de los resultados mencionados para comprender mejor cómo se comportan en los diferentes espacios y como por medio de la luz y la ubicación en el entorno del espectador, cambia totalmente la precepción de las obras.

XXXIII CERTAMEN MINICUADROS

EXPOSICIONES

Museo del Calzado de Elda
Centre de Cultura de Petrer

Jurado CERTAMEN DE MINICUADROS

Paula Pastor Andrés
Cristina Segura Cobo
David Trujillo

HUESTES DEL CADÍ. ELDA

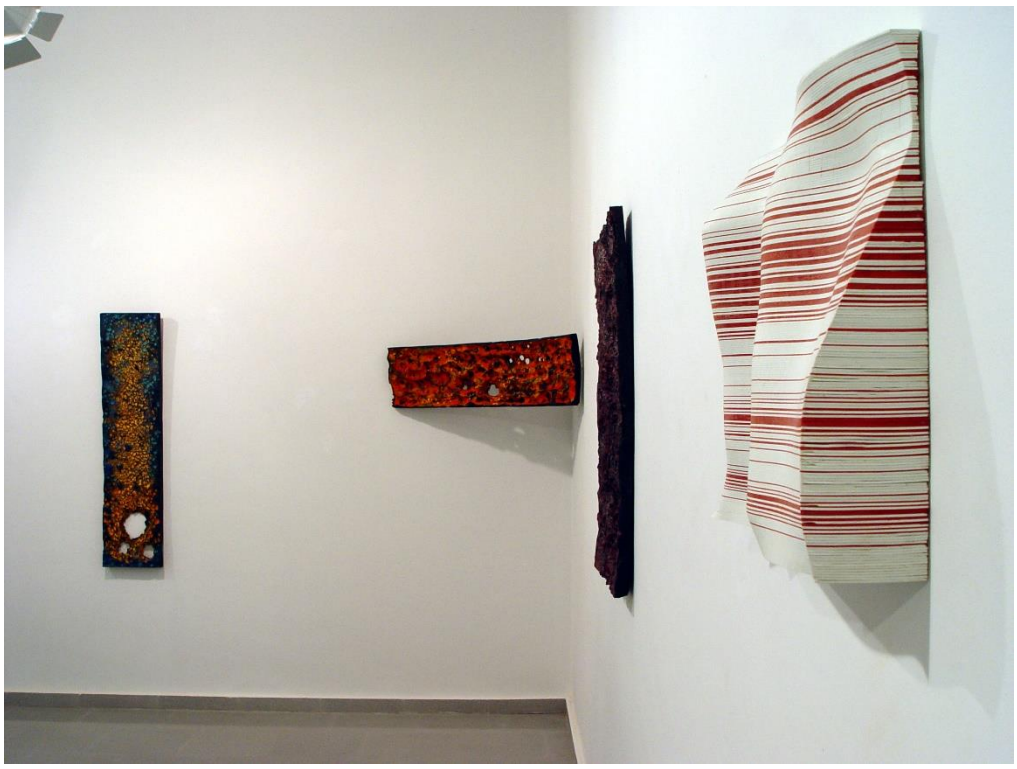
Directora del Certamen: Lola González
Coordinación del Certamen: Francisco Calvo y Juan Martínez
Director del Museo del Calzado: Juan Carlos Martínez
Fotografía: Foto Busillo
Diseño Gráfico: Lola González
Maquetación: Lola González
Webmaster: Museo del Calzado
Imprime: Azorín, Servicios Gráficos Integrales. Elda
www.minicuadros.com

AGRADECIMIENTOS
A todos los artistas
Jurado del certamen: Paula Pastor Andrés (Directora de Galería 9, Valencia),
Cristina Segura Cobo (Galería Fernán Cano, Barcelona)
y David Trujillo (Artista Plástico).
Museo del Calzado: Hermelando Alcert, Teresa Jover y Rosa Verdú
Diputación Provincial de Alicante: Luisa Pastor
Ayto. de Elda, Concejalía de Cultura: José F. Mariscal
Ayto. de Petrer. Concejalía de Cultura: José Miguel Peyá y Juan Ramón García
Acabados Libertad: Pascual Fco. Abellán
Cartonajes Salinas: Antonio Martínez
Foto Busillo: Rosario Soriano, Juan Carlos Segura y Basilio Segura
Iniciativas: Rocío Crespo y Pelayo Fernández
Compañía Huestes del Cadí: Lola Castelló, Juan Martínez, José Manuel Corredor,
Carmen Quevedo, Antonio Paya, Antonio Liñán y Julio Fernández.
Salva-imprevistos: Antonio del Rey, Lola Cascales, Leticia González y Gelli Cascales.

PEDRO ALONSO UREÑA
P.C-1
Collage
25 x 25 cm

ACCÉSIT

PEDRO ALONSO UREÑA
Doce 4
Collage
25 x 25 cm



Exposición “Nuevas poéticas para nuevos materiales”

CAPÍTULO 5

PROPUESTA ARTÍSTICA A PARTIR DE PROCEDIMIENTOS MECÁNICOS DE IMPRESIÓN EN 3D

5.1 INTRODUCCIÓN

Después de realizar investigaciones y pruebas con todo tipo de plásticos, entre ellos el PVC en sus dos versiones (de calandra y espumado); y sobre todo a raíz de nuestra estancia en la ciudad de Guadalajara (perteneciente al estado de Jalisco, México) se nos abrieron nuevas puertas respecto a nuestro método de trabajo. Esa acumulación de experiencias nos ha generado un pensamiento renovado que ha concluido con la incorporación de las posibilidades expresivas de las impresoras 3D, que operan con filamentos termo-fundibles derivados del plástico.

Estas nuevas aplicaciones y sus materiales, constituyen el grueso de este apartado en el que comenzaremos analizando el PLA como material protagonista y base fundamental de nuestras piezas. Pero además de esto, nos ha interesado experimentar con los diferentes tipos de “post-procesos” que pueden ser aplicados una vez terminada la impresión de la pieza. En este sentido, debemos de tener en cuenta que el sistema de impresión y los acabados que generan las impresoras de modelado por deposición fundida (*Fused Deposition Modelling* / FDM[60]) no suelen ser muy pulcros, teniendo que lijar, pulir o pintar para suplir esa falta de precisión. Pero, por otra parte, las impresoras FDM cuentan con la ventaja de tratarse del sistema más accesible que hay en el mercado, por la gran pluralidad de materiales que admiten, y en consecuencia, por las múltiples terminaciones que pueden ofrecer.

Con este nuevo procedimiento, nuestro trabajo se enriquece sustancialmente dado que ya no solo se eliminará material (tal como ocurría cuando trabajábamos con las máquinas CNC), sino que también se posibilita la construcción de piezas de gran detalle por superposición de capas de plástico. De este modo, los diferentes colores, texturas o acabados aplicados antes y después de imprimir las piezas, nos permiten metafóricamente hablando, aproximarnos desde un procedimiento contemporáneo, al universo colorista y barroco del arte tradicional mexicano, y a la técnica del dorado predominante en los ornamentos y pasos de Semana Santa. Por último, todas las pruebas de experimentación previas realizadas sobre placas impresas de PLA han sido

[60] Las impresoras FDM o Modelado por deposición fundida es un proceso de impresión 3D que trabaja mediante la deposición de material. Para más información: Véase Capítulo 2, punto 2.3.3.3

recopiladas a modo de fichas técnicas en el apartado de Anexos. Con ello, pretendemos establecer una amplia panorámica de las distintas y numerosas pruebas realizadas, que nos permitan comparar los múltiples comportamientos y reacciones entre el PLA y los tratamientos a los que ha sido sometido a lo largo de estos años en nuestra investigación.

5.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL

¿Por qué elegimos en nuestro proyecto PLA y no ABS?

Existen diversos materiales para impresoras en 3D que los encontramos en diferentes presentaciones. Sin embargo, existen muchos proveedores y en función de cada uno de ellos la calidad del material puede variar. Partiendo de que para el sistema FDM se usan filamentos termoplásticos, explicaremos las características de los materiales más usados para las impresiones de bajo coste, destacando el ABS y PLA con diferencia. La existencia de nuevos materiales para este sistema va evolucionando notoriamente, pero estos dos filamentos los podemos encontrar en dos diámetros: 3,0 mm y 1,75 mm. En nuestro caso, hemos utilizado el de 3,0 mm, puesto que para la impresora Ultimaker Original es el que mejor funciona. Este espesor actualmente está siendo desplazado por el de 1,75 mm, ya que con este se evitan más roturas del material a mitad de proceso, dado que se puede empujar con más facilidad.

El ABS es uno de los materiales más usados en el FDM por su gran solidez y resistencia, encontrándolo en un amplio abanico de colores. El ABS lo podemos encontrar en diversos establecimientos o mediante distribuidores, siendo las piezas de LEGO un ejemplo a nivel mundial. Uno de los factores determinantes para el uso adecuado de este material es contar con una “cama caliente” la cual permite que la superficie en donde el material es extruido, mantenga una temperatura estable para evitar contracturas por el choque térmico. Este factor supone un coste adicional a la hora de imprimir una pieza y cierta complejidad de trabajo de la misma.

En cuanto al PLA, a diferencia del anterior, se caracteriza por ser un plástico biodegradable. Puede ser encontrado en forma de resina, compatible para el proceso de SLS, así como en filamento para el FDM y además existen

varios formatos de presentación y colores, incluyendo transparentes o fosforescentes, entre otros. Por otro lado, este material ofrece una menor durabilidad y flexibilidad respecto al ABS, sin embargo, no precisa de “cama caliente” para su impresión porque se adhiere bien a la plataforma de trabajo. Por estas razones, en la elaboración de nuestra pieza, partiendo del proceso de FDM mediante Ultimaker Original, nos centramos en el uso del PLA como material definitivo evitando así los ya mencionados problemas o el uso de la “cama caliente” del ABS.

El presente proyecto se desarrolla a través del proceso de modelado por deposición fundida o FDM. En el mercado, los materiales que más se utilizan para este proceso son el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) y el ácido poliláctico (PLA). Señalar, además, los aspectos más relevantes del PLA; determinantes para nuestra elección como material de impresión:

- El PLA, a diferencia del ABS, se caracteriza por ser biodegradable;
- Puede ser encontrado en forma de resina, compatible para el proceso de SLS, así como en filamento para el FDM;
- Para ambos materiales, existen varios formatos de presentación y colores, incluyendo transparentes o fosforescentes entre otros.

5.3 EXPERIMENTACIÓN CON EL MATERIAL PLA

Tras seleccionar el PLA como material de impresión, se comenzó con la realización de diferentes pruebas de contacto para entender mejor su comportamiento y poder realizar otro tipo de tratamientos y terminaciones a posteriori. A continuación, mostraremos algunos ejemplos para que visualmente pueda comprenderse la evolución del material. Partiendo para ello de una bobina de filamento de 3mm que se transformó en una plancha totalmente sólida y compacta impresa al 100% de relleno[61], y que luego es sometida a diferentes tratamientos con solventes.

El proceso de realización que hicimos fue el de agredir mediante solventes planchas impresas en PLA de diferentes colores y proveedores para ver su

[61] Cuando imprimimos por FDM, podemos ajustar o calibrar el porcentaje de material de relleno que va a tener nuestra pieza. Siendo entre un 20% hasta un 50% los patrones normales. Rara vez se sobrepasa el 50% puesto que ya es bastante consistente.

reacción. Los solventes que se utilizaron fueron los solventes orgánicos, siendo estos solventes puros, como alcohol, acetona, hexano, etc. (prácticamente todos los solventes son orgánicos). El Thinner[62] en sus diferentes versiones como el estándar, americano y el acrílico, también lo es, aunque está compuesto por una mezcla de varios solventes (entre 5 y 6, como alcoholes, xileno, esteres, tolueno, etc.) en diferentes porcentajes. El Xilol (que es otro solvente orgánico) también fue empleado, pero era un tanto agresivo, siendo el Thinner americano el que mejores resultados nos proporcionó.

La agresión realizada con solventes partió de la realización de baños de vapor mediante el propio solvente, puesto que de esta manera penetraría uniformemente. Si hubiesen sido sumergidas la pieza impresa en PLA directamente en el interior del solvente, hubiesen aparecido burbujas de aire, y por esta razón cabía la posibilidad de que no atacase el líquido. Sobre todo, si estamos trabajando con materiales derivados del plástico que tienden a ser impermeables. Este fenómeno se conoce como aire ocluido, puesto que al ser un material estanco hace que el aire quede en forma de micro-burbujas en las imperfecciones y poros de la plancha, evitando la acción del solvente en esas zonas. Otro aspecto que tuvimos en cuenta fue el de colocar una “tapadera” en el recipiente de agresión, ya que, sin ella, los solventes se hubiesen evaporado antes (como ocurre regularmente en el caso de la acetona que es uno de los componentes del Thinner que se evapora y ataca antes). De esta forma, por medio del vapor y regulando la temperatura, pueden realizarse “ataques” de los diferentes componentes de cada Thinner por separado.

[62] El Thinner o también llamado adelgazador, es una mezcla de solventes derivados del petróleo empleado para diluir la viscosidad de la pintura o recubrimientos como barnices. Para remover pinturas o lacas previamente usadas, para la formulación de esmaltes, tintas o bienes de consumo y para retardar o acelerar el secado de la pintura. Existen varios tipos de Thinner y cada fabricante lo formula de una forma diferente, destacando el Thinner Estándar, americano, Acrílico y Removedor; cada uno de ellos se emplea para trabajos diferentes, pero todos parten de la idea de diluir o adelgazar el material con el que se trabaja a fin de obtener mejores resultados (GrupoPochteca, 2015).

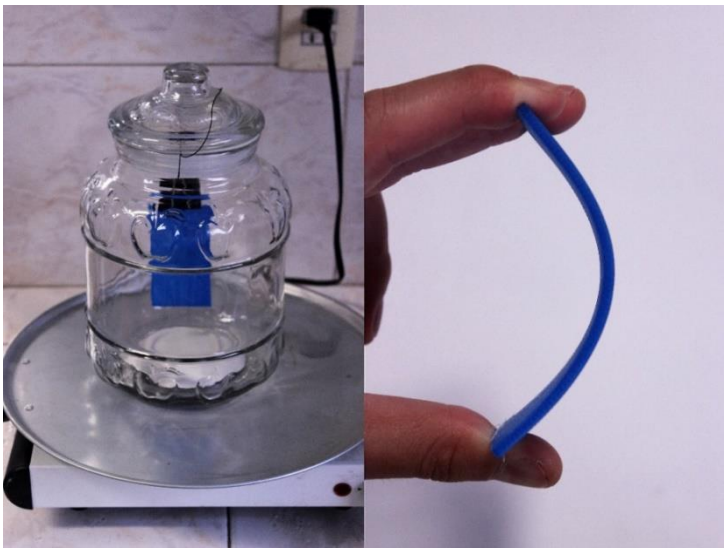


Figura 204. Baño de vapor con Thinner americano observando la flexibilidad

Si la temperatura es constante, es mejor poner la tapadera para que siempre actúe y evapore el mismo componente. Una solución, en el caso de realizar este proceso de agredir por partes con los diferentes componentes, se podría ejecutar mediante una destilación fraccionada en la que gracias a un destilador podríamos separar todos los componentes del solvente con el que trabajemos (en el caso del Thinner, como se compone generalmente de 6 solventes, podríamos manipular la pieza con todos ellos utilizando este método), y con un termómetro observaríamos a que temperatura se va evaporando cada uno de los componentes puesto que presentan puntos de ebullición diferentes.

Figura 205. Baño de vapor en suspensión y sobre base de madera

Una vez resuelto el proceso de destilación fraccionada, observamos que el Thinner americano es el que mejor se acomodaba a nuestro trabajo. Para poder controlar mejor el alcance de su acción, jugamos con la temperatura de un calefactor, así nos era posible hacer menos agresiva la deformación del PLA. Haciendo que el vapor aguantase más tiempo y de esta forma alcanzase una mayor temperatura, al mismo tiempo que producía una menor presión sobre el plástico evitando posibles roturas.

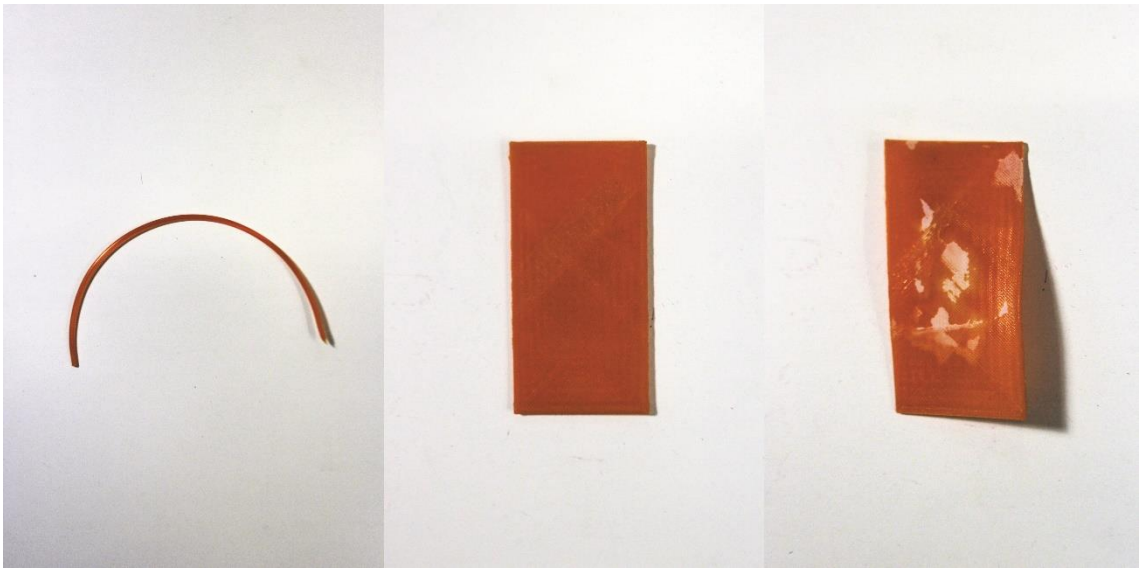


Figura 206. Fragmento de PLA translúcido naranja, impresión del mismo en forma de placa con Ultimaker original y baño con solvente

En este caso el baño de vapor con Thinner americano generó una deformación de la placa. Al tratarla en suspensión sin ningún tipo de soporte adicional, la deformación se produjo en toda la placa. Tras este proceso, mediante acetona (que es también un disolvente orgánico) dejamos caer unas gotas para que actuasen durante 24 horas, observando como el material se volvía blanquecino sin volver a su estado original. Como este material es translúcido, se apreciaba cómo iba penetrando por las capas de la impresión, mostrando su parte interna, que en este caso como estaba impreso al 100% de relleno esa profundidad es menor.

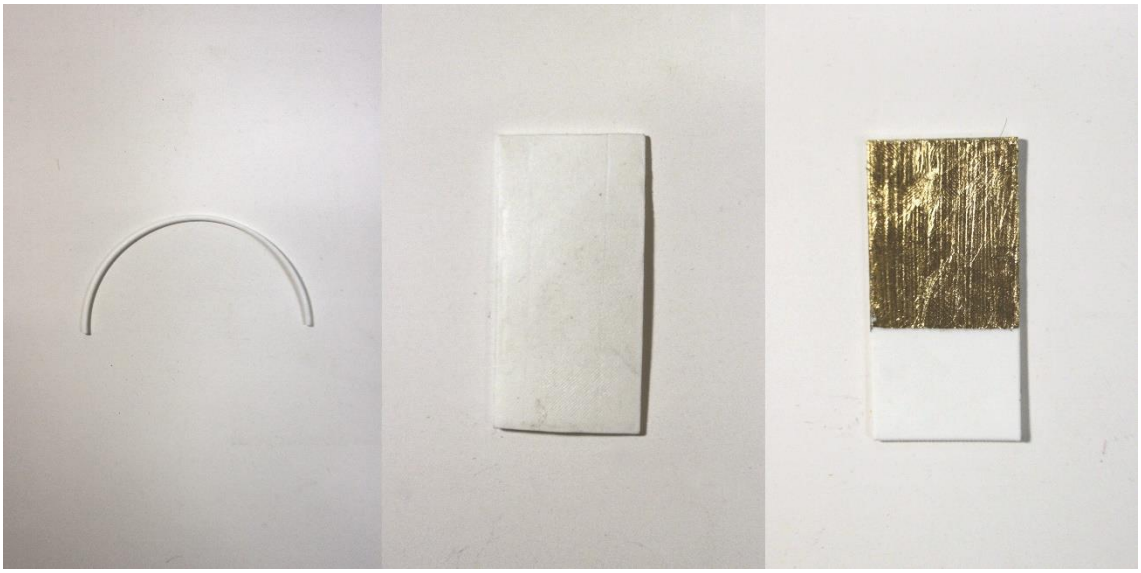


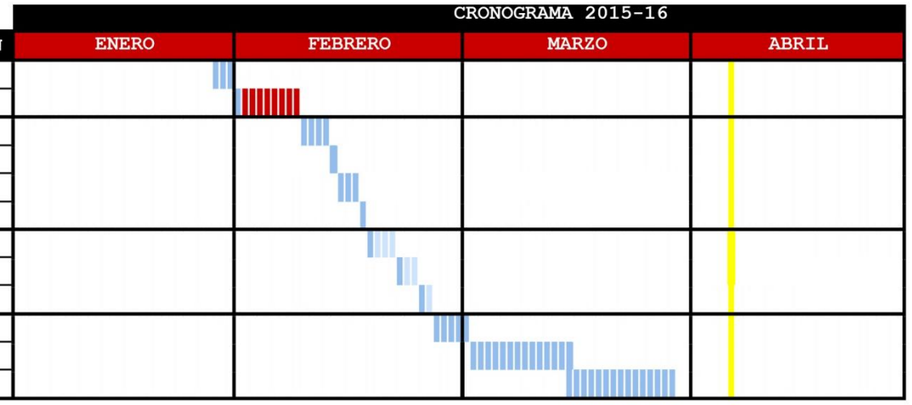
Figura 207. Fragmento de PLA blanco puro, impresión del mismo en forma de placa con Ultimaker original y aplicación de pan de oro a la mixtión

Tras realizar agresiones con solventes, decidimos tratar la placa impresa con materiales más pictóricos, como es el caso del pan de oro. La aplicación que se le dimos al oro fue por medio de la técnica de dorado a la mixtión mediante un barniz al agua, que se caracteriza por poder emplearlo sobre cualquier tipo de superficie.[63]

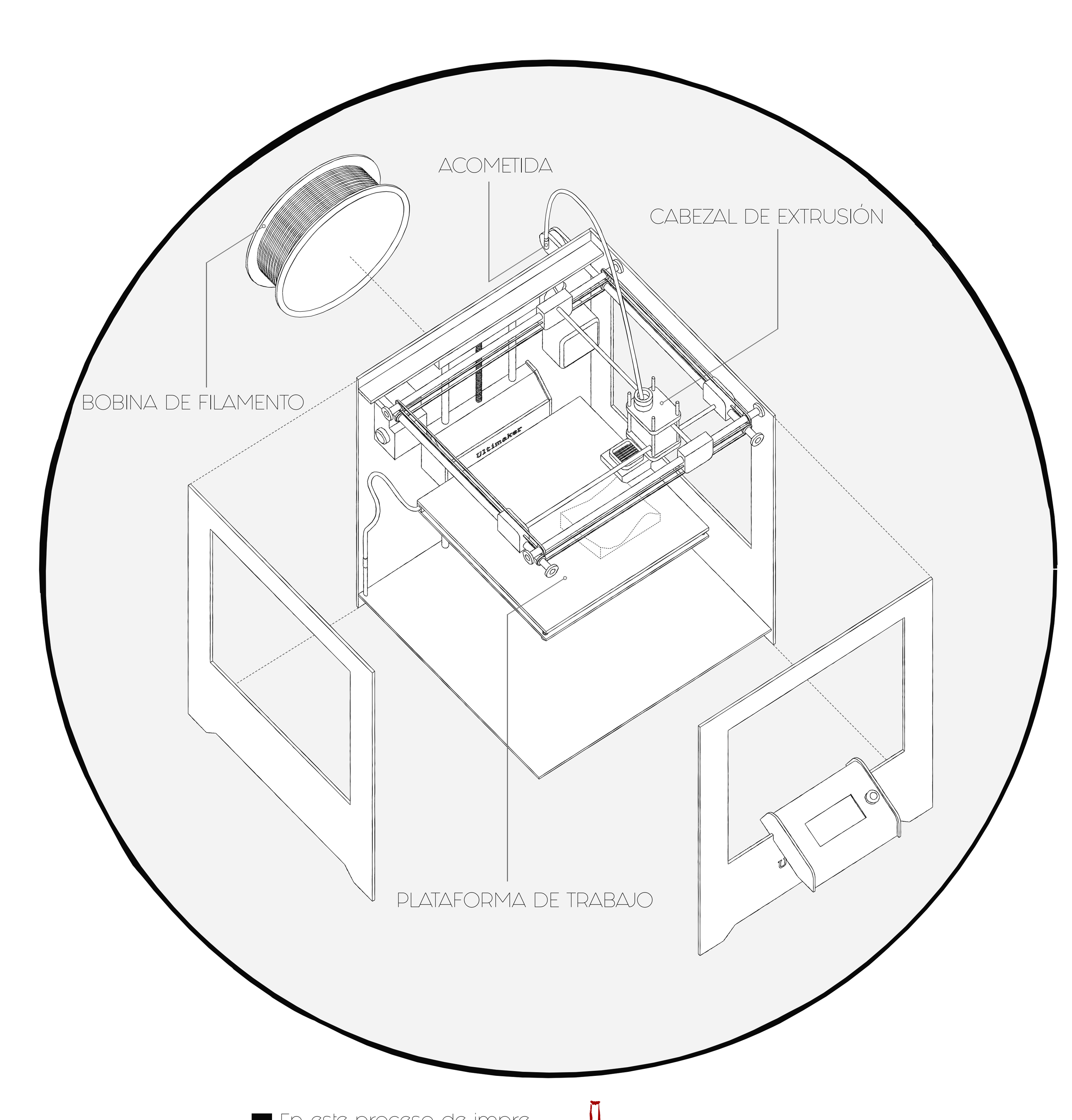
[63] Este tipo de pruebas más técnicas se recopilan en los anexos, mediante tablas informativas que resumen el tratamiento completo realizado.

5.4 TEMPORALIZACIÓN DE LAS TAREAS Y FASES DEL TRABAJO

FASES	TAREAS	DURACIÓN
Fase 1: Análisis y material del proyecto	1.1 Analisis del Proyecto	3 días
	1.2 Pedido del PLA blanco sólido y negro	8 días
Fase 2: Proceso creativo de las obras	2.1 Creación del modelo 3D. Modelado	4 días
	2.2 Reacomodo del modelo: Dynamesh	1 día
	2.3 Decimación o teselación. Renderizado	3 días
	2.4 Slicing y generación del g-code	1 día
Fase 3: Impresión en 3D	3.1 Impresión de la base craneal	4 días
	3.2 Impresión del maxilar inferior	3 días
	3.3 Impresiñon de la lengua	2 días
Fase 4: Post-proceso de acabado	4.1 Baños químicos con solventes	5 días
	4.2 Terminación con pan de oro, chaquiras y encolado	14 días
	4.3 Enmarcación	15 días



Periodo de realización
Periodo de secado y lijado
Trascurso del pedido
Finalización del proyecto



maquina

En este proceso de impresión, la materia prima con la que se trabaja es extruida mediante una o varias boquillas en el cabezal de la impresora, el cual deposita el material mediante patrones lineales capa a capa sobre una plataforma que va descendiendo a medida que la maquina imprime la pieza.

modelo: ULTIMAKER

elección material

Partiendo de que para el sistema FDM se usan filamentos termoplásticos, explicaremos las características de los materiales más usados para las impresiones de bajo costo destacando el ABS y PLA .

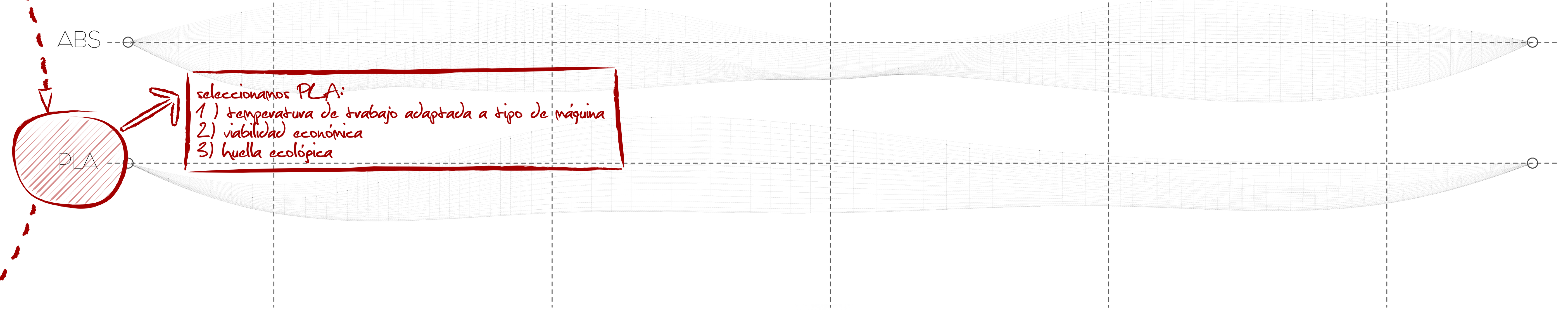
TEMPERATURA
Nivel de temperatura necesaria para el procesamiento del material en FDM bajo unos índices de resolución de modelos aceptables.

COLOR
Catálogo de posibilidades que ofrece el material en cuanto a variedad cromática, transparencia o incluso propiedades fosforescentes.

BIODEGRADABLE
Se refiere a la capacidad de descomposición en un periodo de tiempo corto mediante la gestión de microorganismos que conllevan a la desaparición total del material procesado.

DUREZA
Esta propiedad garantiza una mayor resistencia del modelo final frente a acciones mecánicas, lo que permite tratamientos posteriores más agresivos sobre las piezas.

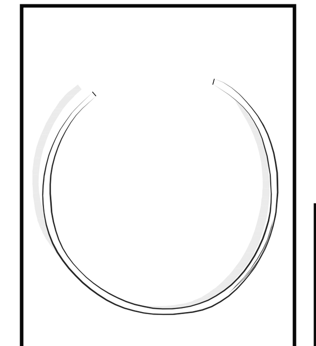
FLEXIBILIDAD
Una mayor flexibilidad mejora la capacidad de procesamiento de los modelos mediante FDM. De este modo pueden obtenerse geometrías con mayor resistencia y durabilidad.



seleccionamos PLA:
1) temperatura de trabajo adaptada a tipo de máquina
2) viabilidad económica
3) huella ecológica

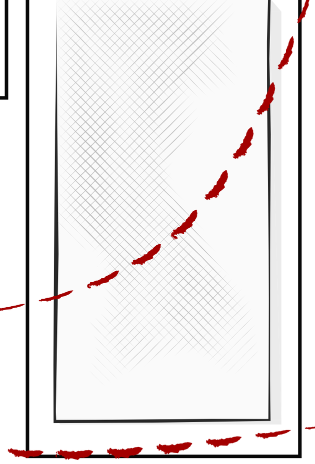
experimentación

Tras seleccionar el PLA como material de impresión, comenzamos con la realización de diferentes pruebas de contacto para entender mejor su comportamiento y poder realizar otro tipo de tratamientos y terminaciones a posteriori.

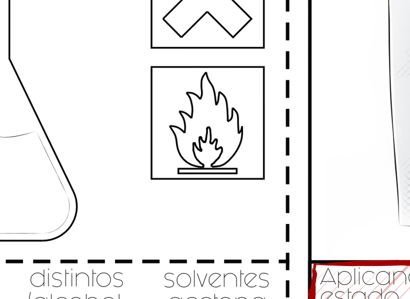


Partimos del material en forma de filamento de PLA con un espesor de 3mm, enrollado sobre una bobina y en un aspecto cromático uniforme.

A través del proceso de impresión 3D generamos una plancha sólida al 100% de relleno, sobre la que procederemos a realizar diferentes pruebas experimentales.



tipos experimentaciones:
Químicas> solventes
Físicas> pictóricas



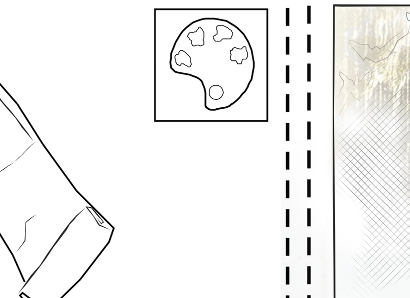
Aplicamos distintos solventes orgánicos (alcohol, acetona, hexano, etc), Thinner en sus diferentes versiones (americano, estándar o acrílico) y xilol.

Aplicando acetona en estado líquido vemos como decolora el material a modo de manchas blanquecinas sobre la superficie.

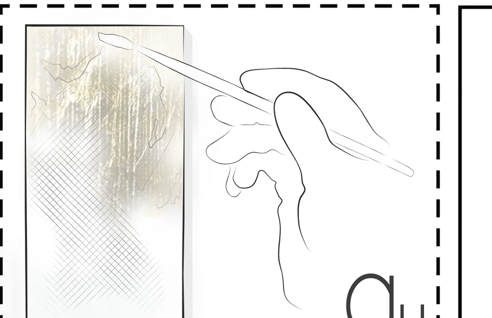
Sumergimos la pieza en Thinner y observamos como la decolora a la par que la deforma adquiriendo un aspecto heterogéneo.

Realizamos baños de vapor con solventes sobre las piezas, comprobando los distintos resultados en función de la disposición de las mismas (suspendidas o apoyadas sobre base de madera) y de los tiempos de agresión con los vapores.

Podemos comprobar la deformación y flexibilidad alcanzada por la placa tras la evaporación y absorción del solvente.



Utilizando otros métodos menos agresivos sobre el material, nos decidimos por emplear técnicas pictóricas aplicadas directamente sobre las piezas.



Aplicamos pan de oro por medio de la técnica de dorado a la mixtión mediante barniz al agua, caracterizado por poder emplearlo sobre cualquier tipo de superficie.

La lámina de oro queda adherida sobre la superficie de la pieza, acentuando la textura de la misma.

dinámicas proceso

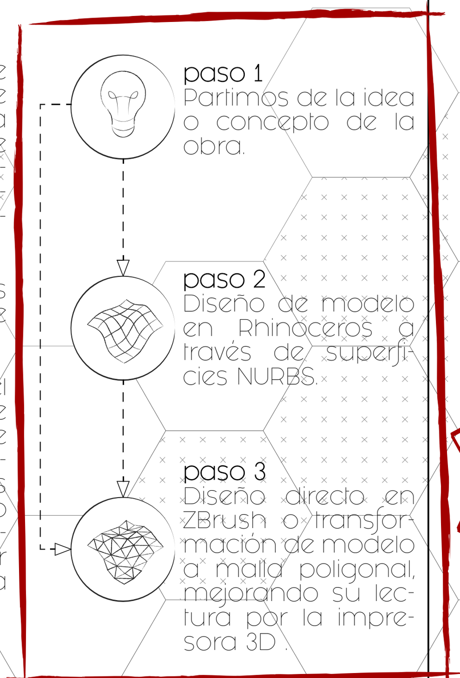
Una vez investigado y analizado el material con el que vamos a trabajar, comenzaremos a enfocar el PLA para la realización de piezas orientadas al mundo del arte. Partiendo de la impresión en 3D como base creativa, evolucionaremos cada modelo a través de diferentes técnicas de acabado.

fase 01 ////modelado

La obtención de los modelos de trabajo se consigue a través de software de diseño 3D, donde a partir de la idea de proyecto se conforman las piezas suficientemente definidas que posteriormente trasladaremos a la herramienta de impresión.

Mediante el software Rhinoceros obtenemos un modelo de diseño previo.

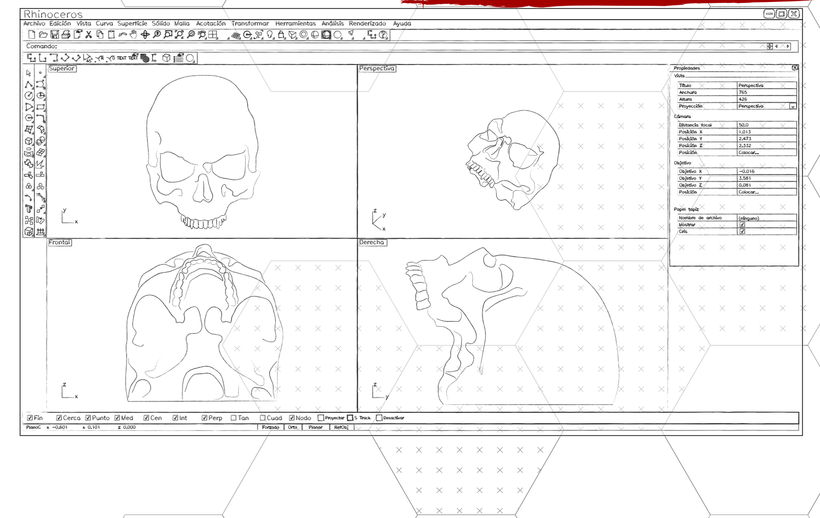
Posteriormente tratamos el modelo generado mediante ZBrush, lo que nos permite corregir las geometrías generadas inicialmente, traduciéndolas a mallas poligonales. Dicho proceso es necesario para facilitar la lectura de las piezas por parte del software propio de la maquina.

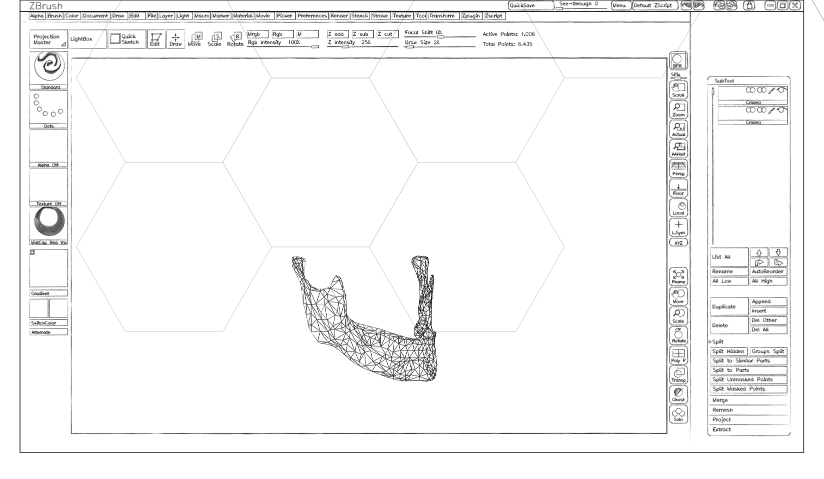


paso 1
Partimos de la idea o concepto de la obra.

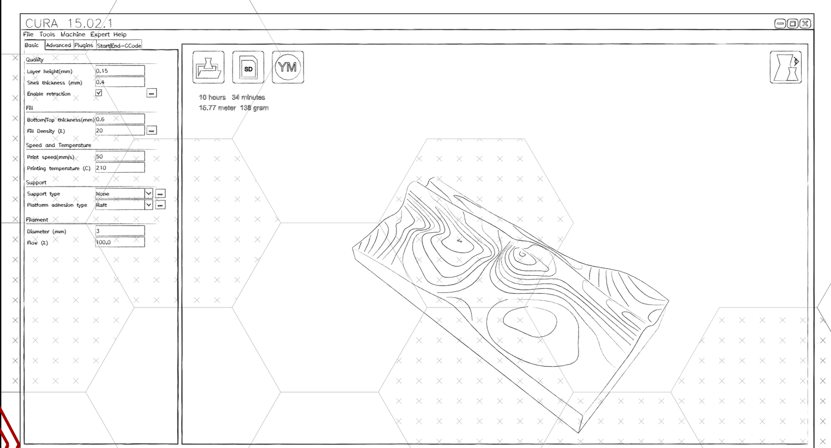
paso 2
Diseño de modelo en Rhinoceros a través de superficies NURBS.

paso 3
Diseño directo en ZBrush o transformación de modelo a malla poligonal, mejorando su lectura por la impresora 3D .

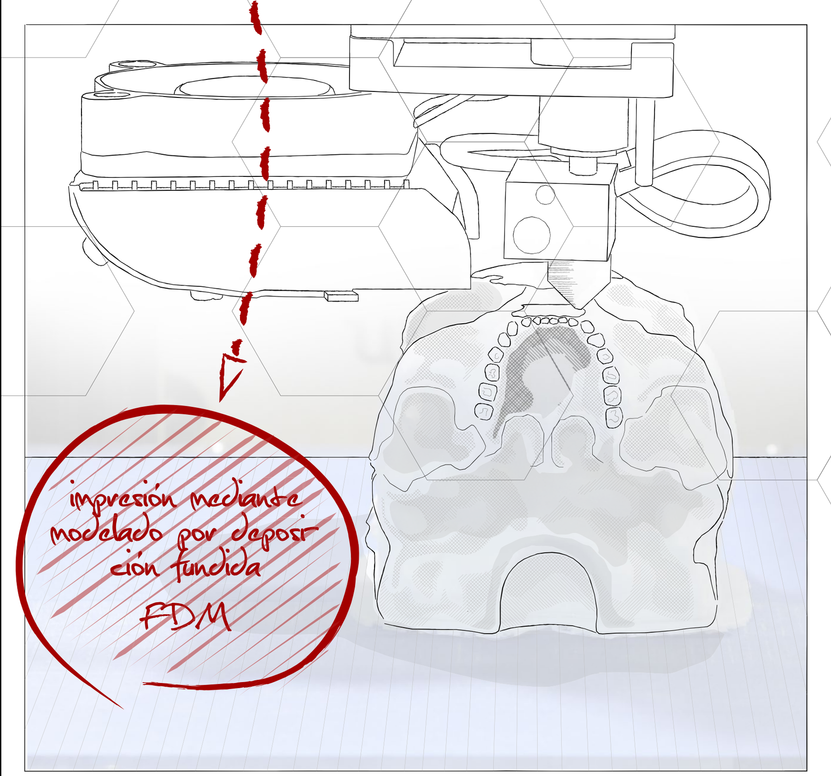




fase 02 ////impresión



Una vez tengamos el modelo concluido, deberemos exportarlo en formato STL también conocido como "Lenguaje Estándar de Teselado" que describe la superficie de un modelo 3D sin representación del color del modelo, textura o atributos comunes a los modelos de CAD (Computer Aided-Design), para que el software que nos permite hacer el "rebanado" o slicing pueda detectarlo. En nuestro caso utilizamos **Cura** **15.02.1**, el cual convierte el objeto en coordenadas legibles para la máquina, generalmente conocido como g-code. Tras colocar los parámetros necesarios para la impresión de la pieza y cuando esté correctamente posicionada en la plataforma de impresión, hacemos el slicing de la pieza (convierte la figura en capas milimétricas horizontales que se imprimirán consecutivamente).



impresión mediante modelado por deposición fundida FDM

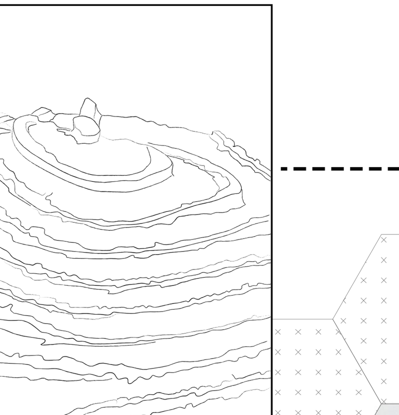
fase 03a //// PCI.BLANC_2014 (gold edition)

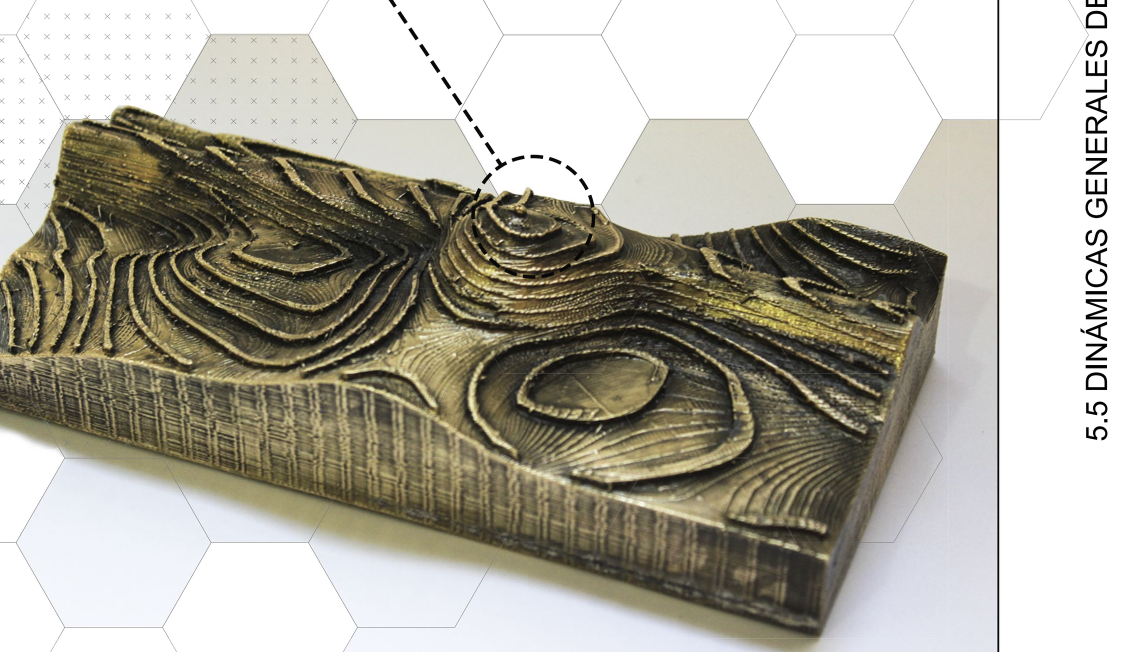
proceso químico baño electrolítico

Lo primero que hacemos en este proceso de acabado o terminación mediante electrólisis es darle una capa primaria de fondeado con pintura universal roja a pistola. Una vez seco, le damos dos capas de pintura conductiva color oro.

Tras las capas de pintura, sumergimos la pieza en una solución de cobre alcalino con agua y unos aditivos como el ácido sulfúrico. Este primer baño es para darle una fijación al cobre. Después, le damos otro baño de cobre ácido con agua y aditivos y ahí es donde se electroposita, se hace un electroformado de cobre, alcanzando un mayor brillo.
Una vez aplicado el cobre electrolítico se le puede aplicar cualquier producto o terminación (plata, oro, paladio, rodio, níquel, etc.), en nuestro caso optamos por un baño electrolítico de latón, que le aporta esa terminación.

Esta oxidación formada por el anión sulfato y el catión cobre hace que se acumule en las estrías externas que añadimos a la pieza. Este efecto consigue que la pieza quede mucho más llamativa, acentuando la linealidad de las estrías y generando un aspecto más antiguo que es lo que buscábamos.





fase 03b //// Huicholiano II

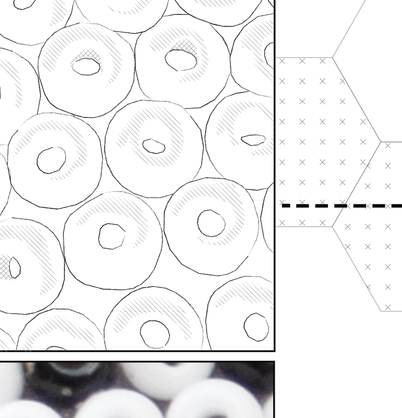
proceso físico combinando chaquiras y dorado

Este tipo de acabado se apoya en el arte huichol del estado de Jalisco, a través de la cubrición de las piezas mediante chaquiras (unas pequeñas cuentas de vidrio muy comunes en este arte tradicional mexicano).

La base de este revestimiento se consigue mediante cera Campeche, producida por las abejas que no tienen aguijón de América. Los huicholes la emplean como adhesivo para la colocación de chaquiras en esculturas, vasijas o cualquier elemento decorativo.

Las chaquiras van colocándose sobre la figura que previamente ha sido recubierta con cera Campeche trabajada con las manos para calentarla y que se adapte mejor al modelo. Como es un adhesivo natural, conviene no exponer las artesanías directamente al sol porque corren el riesgo de que la cera pierda su solidez por el cambio de temperatura constante.

Finalmente combinamos otros tipos de arte sobre la pieza revestida de chaquiras, aplicando pan de oro o pintura mediante aerógrafo.



Una vez investigado y analizado el material con el que vamos a trabajar, nos enfocamos en el PLA para la realización de piezas orientadas al mundo del arte. Estudiaremos paso a paso el proceso creativo de siete piezas en las que destacarán dos volúmenes abstractos y cinco cráneos. Cada una de ellas partió de la impresión en 3D como base creativa y veremos cómo mediante diversas técnicas plásticas pueden cambiar completamente siendo el mismo modelo de impresión. Una de los principales acabados que dimos fue el baño dorado por electrólisis, el empleo de chaquiras y la aplicación de diferentes tipos de pintura.

5.5.1 Metodología para la impresión 3D

Las etapas de producción, a grandes rasgos, de una pieza a imprimir son las siguientes:

1. **Escultura de la pieza en software de animación y diseño.**

    - Creación del modelo 3D, modelado: Toda impresión en 3D se basa en un modelo cuya generación demanda un programa de modelado o escultura digital. En este caso, se utiliza el programa Zbrush.
    - Reacomodo del modelo: A través de la herramienta *Dynamesh* del programa Zbrush, se genera la base de una malla libremente. Ésta, recalcula la topología de la malla y la acomoda de una manera uniforme sobre toda la superficie.

      Es posible modificar y quitar partes de la pieza de una manera similar a la escultura tradicional; con la gran diferencia de que al agregar volumen al material la consistencia del mismo se mantiene intacta.

      Cada vez que se aplica esta herramienta, el programa reacomoda el objeto de manera uniforme.
    - “Decimado” o “teselado”: es uno de los procesos finales cuya función es la de reducir el “poligonaje” interno para que pese menos el modelo, sin

perder nada del detalle.

- Renderizado: En esta etapa se genera una imagen mediante el cálculo de la iluminación tomando como punto de partida el modelo en 3D. en nuestro caso utilizaremos el software keyshot.

2. Preparación para la impresión en 3D

- Generación del archivo: una vez tengamos nuestro modelo bien definido que contenga toda la información necesaria, lo que hacemos es exportarlo en un formato adecuado, por lo general en STL.
- *Slicing* o traducción a capas: tras general el archivo STL, lo importamos al software de "rebanado" o seccionado por capas (*slicing*), en nuestro caso Cura.
- Exportación y generación del *g-code*: por último, necesitamos que nuestra máquina detecte nuestro modelo por lo que tendremos que generar un archivo cuya superficie se hermética. Por norma general son llamados *código g* o *g-code*.

3. Impresión de la pieza con Ultimaker Original

- Introducción del *g-code* a la máquina, ya sea por medio de una conexión directa con la computadora por USB o copiando el archivo en una tarjeta de memoria.
- Calibrado de la impresora y preparación de la plataforma de impresión (la recubrimos con cinta adhesiva).
- Proceso de impresión (extrusión del material, PLA).
- Extracción de las estructuras de soporte para limpiar la figura.

4. **Fase de terminación**

- Baños químicos con solventes (pruebas de contacto en placas de PLA)
- Refinado manual, lijado o fundido mediante pirograbador.
- Imprimación o base de pintura con diferentes acabados.
- Pintado, dorado o cubrimiento con chaquiras (arte huichol).

5.5.2 Proyecto personal: proceso de escultura en 3D

Para la elaboración de nuestro proyecto se partió de un modelo digital realizado en el programa de escultura digital Zbrush. Luego, con ese modelo, se realizaron diferentes bocetos agregándoles deformaciones, irregularidades y texturas para después imprimirlos. Tras obtener las piezas impresas, se le aplicaron diferentes terminaciones a cada una de ellas, partiendo siempre de un lijado superficial o un baño con tetrahidrofurano previo al acabado final

Antes de que la maquina comience a realizar la impresión, conviene recubrir la plataforma de construcción o base con un adhesivo, en este caso color azul, ya que con esto evitamos que al retirar las piezas se dañe la base, siendo la cinta una película de protección que al ser más porosa que el metacrilato, permite que el material de impresión se adhiera mejor a la base. Otra ventaja de usar la cinta adhesiva es la comodidad para la separación de la pieza y la base, puesto que la pieza queda completamente pegada. Es recomendable cambiar la cinta en cada impresión para que siempre esté lo más plana posible puesto que al retirar la obra se generan tensiones que hace que pueda romperse la cinta u ocasionar algún obstáculo.

5.5.2.1 PCI.BLANC_2014 (gold edition)

- Diseño en 3D: modelado digital

En nuestro proyecto, para la realización de esta primera prueba, partimos de una pieza realizada con Rhinoceros y posteriormente tratada con ZBrush. La pieza está guardada como OBJ y una vez pasada a ZBrush, al trabajar con NURBS, hay

vértices que están flotando en el espacio y esto supone un problema para nuestra impresión. Por otro lado, como ZBrush trabaja con masa poligonal, lo que realizamos es una conversión de NURBS a polígonos.

Pero a la hora de imprimir nuestro modelo, tendremos que realizar un acomodo de las partes que no se encuentran unidas con tal de que quede totalmente sólida la pieza para evitar que nos de error en el trabajo, porque debemos evitar objetos *non-manifold* para que el programa pueda hacer correctamente el *slicing*.

Este proceso es necesario puesto que la maquina Ultimaker Orignal, a diferencia de las CNC, trabaja mediante capa a capa de material extruido de forma cenital, por lo que imprime la pieza en función del porcentaje de relleno que le indiquemos. Las CNC trabajan de forma cenital también, pero el proceso es justo lo contrario, parten de la idea de la deconstrucción y el relleno no importa, simplemente la altura de la pieza y la superficie de la malla.

Las impresoras 3D como la Ultimaker Original, parten de la idea de la construcción mediante la superposición de líneas milimétricas del material que se funde por calor (190-220º). Una vez pasada la pieza a ZBrush, observamos lo que estábamos mencionando de las partes flotantes de la pieza que supone un problema que debemos solventar:

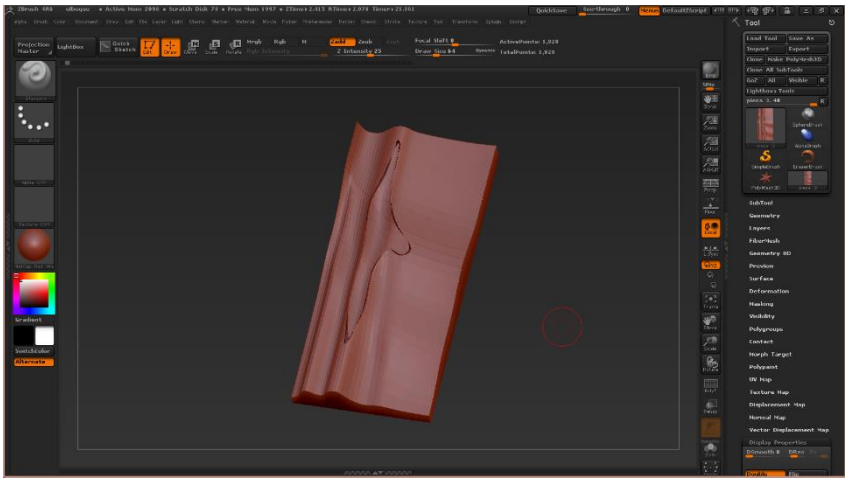


Figura 208. Pieza abierta con ZBrush. Observación de partes flotantes

Al diagnosticar esa oquedad en la figura, lo que utilizamos es la herramienta de *Dynamesh,* generando una base de malla geométrica libre, siendo esta una solución perfecta para esculpir como si fuera una escultura tradicional en barro puesto que no genera restricciones topológicas.

Como nuestra pieza tenía vértices sueltos que se observaban por el cambio de programa y técnica de trabajo, con *Dynamesh* (que recalcula la topología de la malla y la acomoda de una manera uniforme sobre toda la superficie) combinamos esas partes flotantes en una sola, haciendo de esta manera que los bordes se sellen y teniendo la opción de *Project*[64] activada para que conserve las formas de la figura original. Al hacer esto, vemos como se produce un aumento de "poligonaje" considerable.

Una vez resuelto el problema de los vértices, lo que realizamos fue un post-proceso de pulido para poder suavizar más la pieza y que no se apreciasen los bordes. Para esto, utilizamos la operación *Subdivisión* la cual altera la figura de nuestro modelo afilando los bordes. El efecto de esta operación es el de pulir el modelo simulando una escultura en barro, limpiando el aspecto visual de la misma y reduciendo el nivel de biselado. En este caso el "poligonaje" no aumenta, se mantiene intacto.

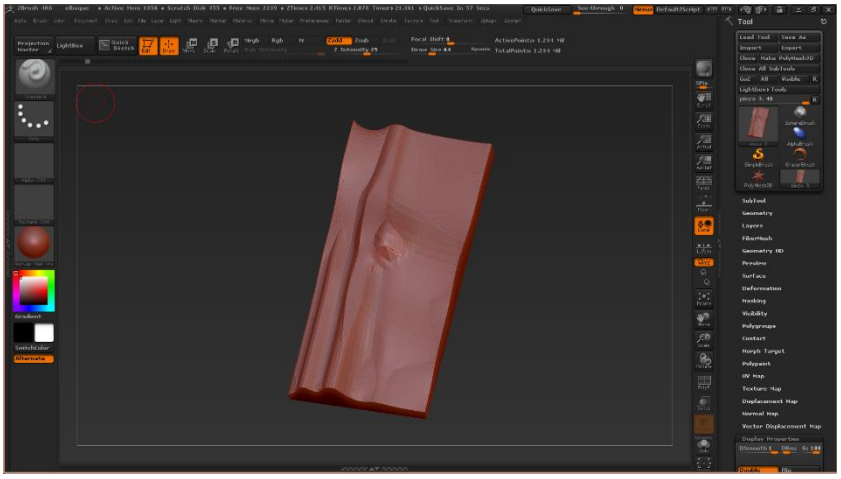


Figura 209. Utilización de la herramienta *Polish* para pulir la pieza

Luego para aumentar el rango de detalle y suavidad de nuestro modelo, lo que utilizamos fue la función de *Subdivisión* o subdividir en dos niveles para aumentar así su "poligonaje" aún más y terminar de pulir la pieza. Lo que hace esta función es sustituir cada polígono por varios polígonos, con lo que aumenta el cómputo total.

[64] Project lo que hace es proyectar una figura encima de la otra, pero para que lo realice bien, es importante tener una buena resolución en la malla a copiar.

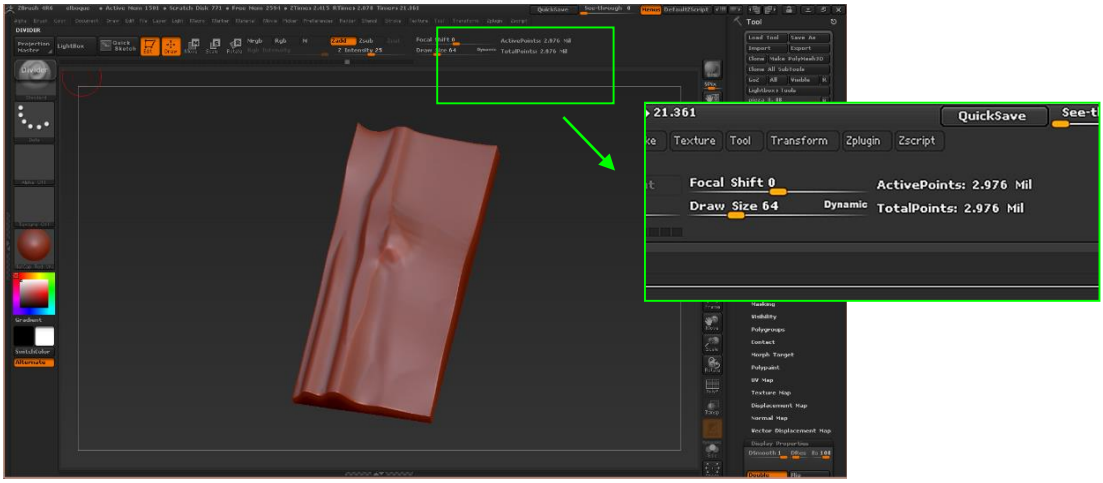


Figura 210. "Subdivisión" para el aumento de "poligonaje"

Finalmente, una vez concluidos los distintos procesos a los que fue sometido el volumen, comprobamos como el modelo sufrió ligeras deformaciones. Para que pudiésemos controlarlas, aplicamos la herramienta *Trim*, seccionando los bordes de cada uno de los lados de la figura, lo que nos permitió eliminar esos polígonos al mismo tiempo que logramos reducir el peso final de la pieza. Para que el modelo 3D se asemejase a la escultura que hicimos en PVC espumado en blanco y negro, procedimos a aplicarle mediante una máscara de selección las franjas como otra opción posible. De este modo, nos percatamos que este programa no presentaba ningún tipo de restricción en nuestro trabajo, permitiéndonos mantener el aspecto de las obras anteriores realizadas con fresadora.

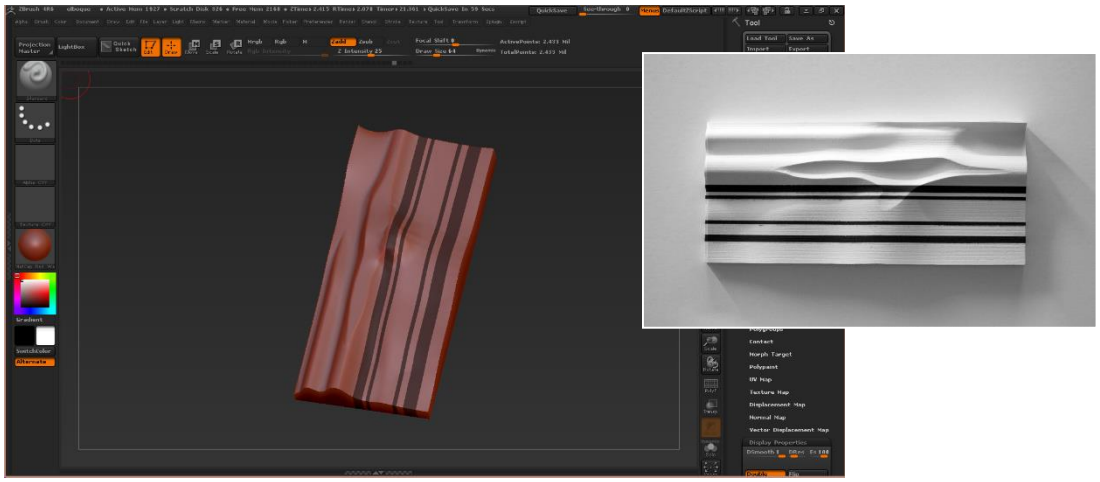


Figura 211. Empleo de una máscara para establecer una comparativa con nuestro anterior trabajo

La *Decimation* o “teselación”, es uno de los procesos finales cuya función permite reducir el “poligonaje” interno de un volumen y en consecuencia reducir de un modo muy eficiente el peso de nuestro modelo; todo ello sin perder nada del detalle. En la figura 211 se observa como el “poligonaje” se reduce considerablemente, optimizando el manejo de la misma a la hora de realizar los renders, de exportarla a cualquier otro software o de simplemente trabajar con ella si nuestra computadora no soporta la visualización en tiempo real de la misma.

Al terminar el proceso de pulido, comenzamos con la realización de renders para que nos permitiesen previsualizar la obra con diferentes materiales y acabados. De este modo adelantamos varios resultados posibles dispuestos en un entorno similar al que se iba tener, pretendiendo con ello tener un control lo más preciso posible del resultado final. Para ello, empleamos el programa Keyshot, que, para la creación de efectos visuales, iluminaciones y cambios en tiempo real, es uno de los más empleados a nivel mundial.

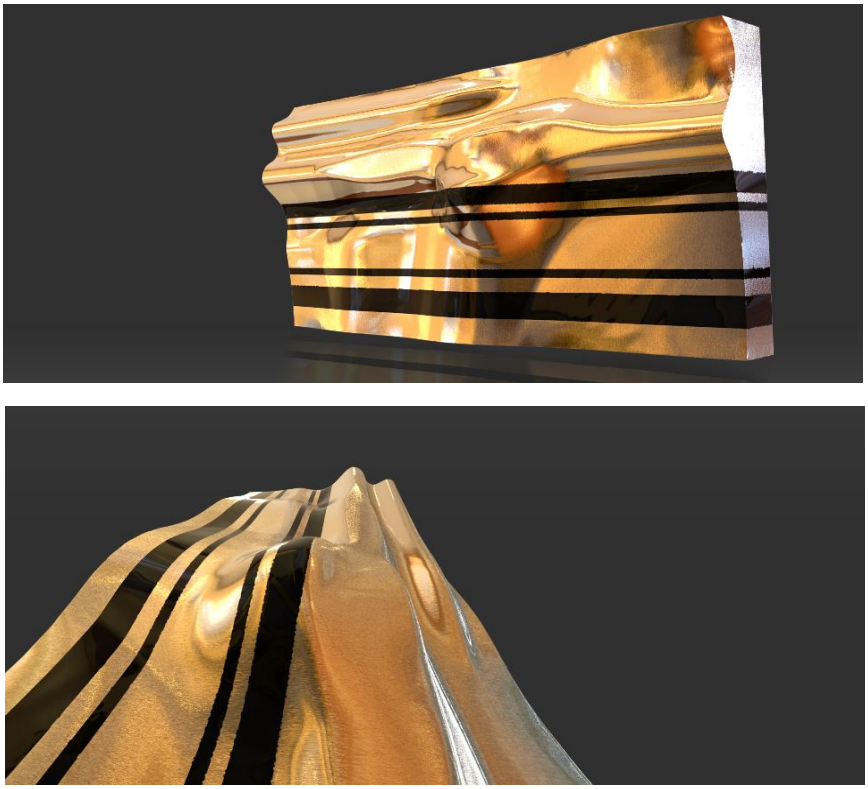


Figura 212. Renders con Keyshot como resultado previo a la impresión 3D

Mencionar también, que a esta pieza en concreto se le añadió en el diseño del modelo con ZBrush una máscara. Dicha máscara, a la hora de imprimir la pieza, adoptó formas de líneas orgánicas, que finalmente se mostraron muy adecuadas a la hora de fijar el acabado final con baño electrolítico.

- Impresión en 3D mediante Ultimaker Original

Una vez el modelo concluido, fue exportado en formato STL (*Standard Triangle Language*), el cual, describe la superficie de un modelo 3D sin representación del color del modelo, textura o atributos comunes a los modelos de CAD (Computer Aided-Design), para que el software que nos permite hacer el "rebanado" o *slicing* pueda detectarlo. En nuestro caso utilizamos Cura 15.02.1, el cual convierte el objeto en coordenadas legibles para la máquina, generalmente conocido como *g-code*. Tras colocar los parámetros necesarios para la impresión de la pieza y estando correctamente posicionada en la plataforma de impresión, hicimos el *slicing* de la pieza (convierte la figura en capas milimétricas horizontales que se imprimirán consecutivamente).

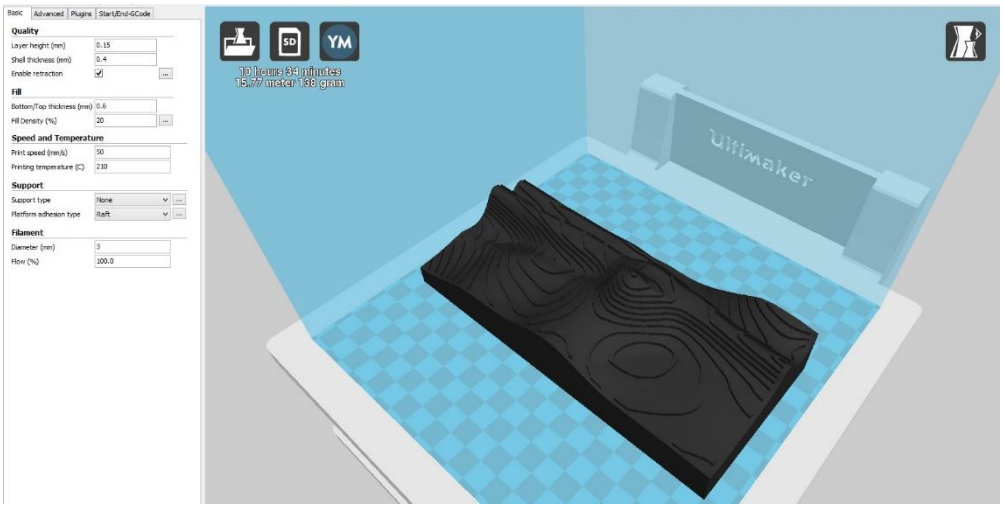


Figura 213. PCI.BLANC_2014 (*gold edition*) abierta con Cura. Pre-visualización y ajustes de impresión

En la imagen podemos ver una recreación de la plataforma de construcción de nuestra impresora Ultimaker Original y de nuestro modelo 3D, en el que ajustamos distintos parámetros como: el diámetro del filamento (3mm), la temperatura de impresión (210ºC), el porcentaje de relleno (20%), tiempo estimado de impresión (10

horas y 34 minutos), la cantidad de material que va a gastar (15,77 metros y 138gr) etcétera.

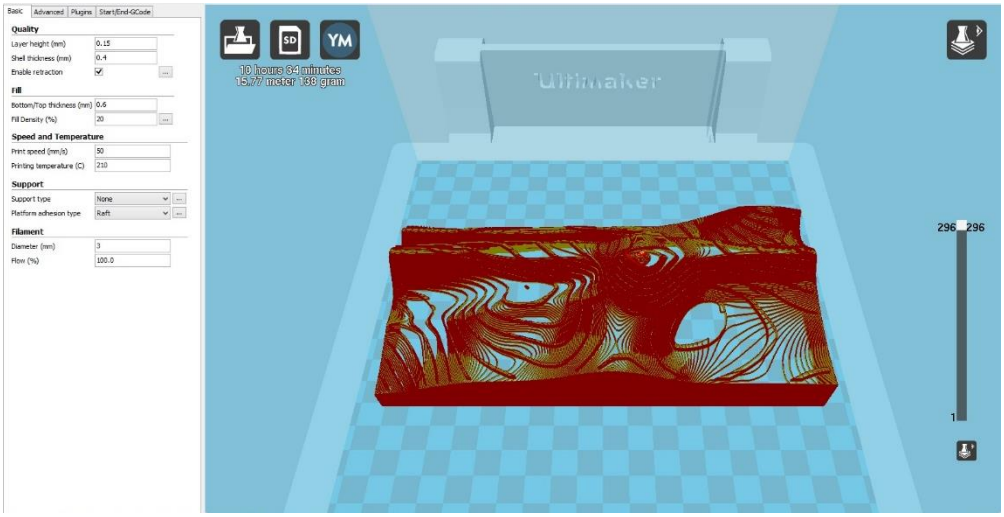


Figura 214. Realización del rebanado o *slicing*.

Al realizar el *slicing* podemos ver las capas que se van a generar y sumergirnos en cada una de ellas. También nos permite ver el panelado en damero de su construcción interna, que en función del porcentaje de relleno que le coloquemos se verán las estructuras internas con diferentes proximidades.

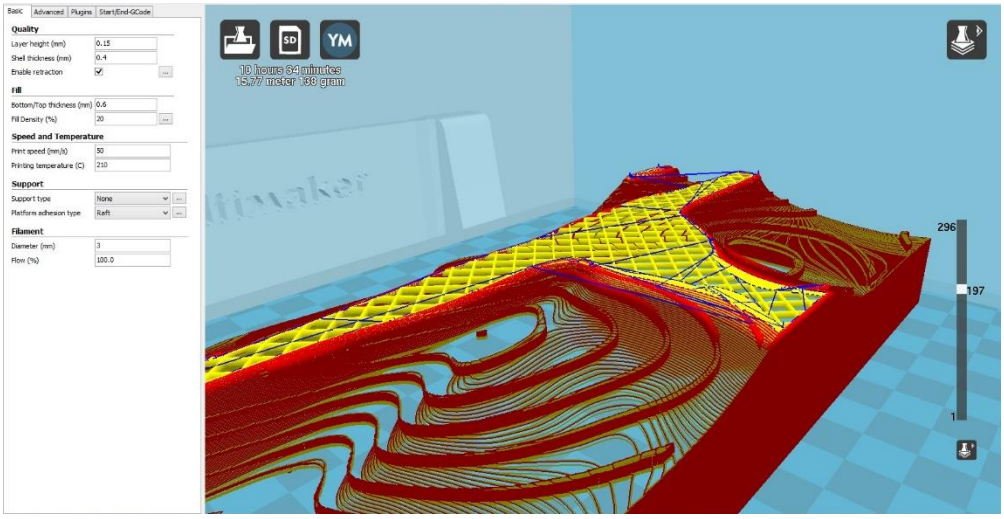


Figura 215. Observación de la parte interna de la pieza por capas

Tras visualizar nuestro modelo, generamos el *g-code* que nos permitía traducir todas estas capas a un lenguaje que nuestra maquina pudiese detectar (los movimientos del cabezal de extrusión, cantidad de material, tiempo de realización,

etc.). Lo que realizamos fue una exportación del *g-code* y lo guardamos en una tarjeta de memoria que nos serviría para transportar la información a la máquina.

Un detalle a tener en cuenta es la escala real de nuestro modelo 3D, puesto que generalmente en el archivo STL la unidad de longitud no se encuentra especificada, por lo que hay que revisar ese aspecto, dado que puede que el software de modelado (ZBrush) y el de “rebanado” (Cura) usen diferentes parámetros. Lo que se realizó fue re-escalar en función de las medidas reales que queríamos obtener, teniendo en cuenta siempre que la impresión no iba a ser 100% exacta, ya que, al trabajar con plástico fundido siempre tiende a encoger al enfriarse.

La impresión se realizó con nuestra máquina holandesa construida manualmente, en la que predominan estructuras de madera en su composición. Es importante mencionar las ventajas que tiene construir tu propia impresora, puesto que cualquier pieza que se estropee nos va a ser más fácil cambiarla por nosotros mismos, y esto a su vez, es un beneficio ya que estas nuevas tecnologías están en un continuo avance, y en cuestión de pocos años puede quedar obsoleta; con lo cual podremos actualizar con nuevas piezas o boquillas de extrusión o añadir nuevos materiales actualizando nuestra impresora fácilmente.

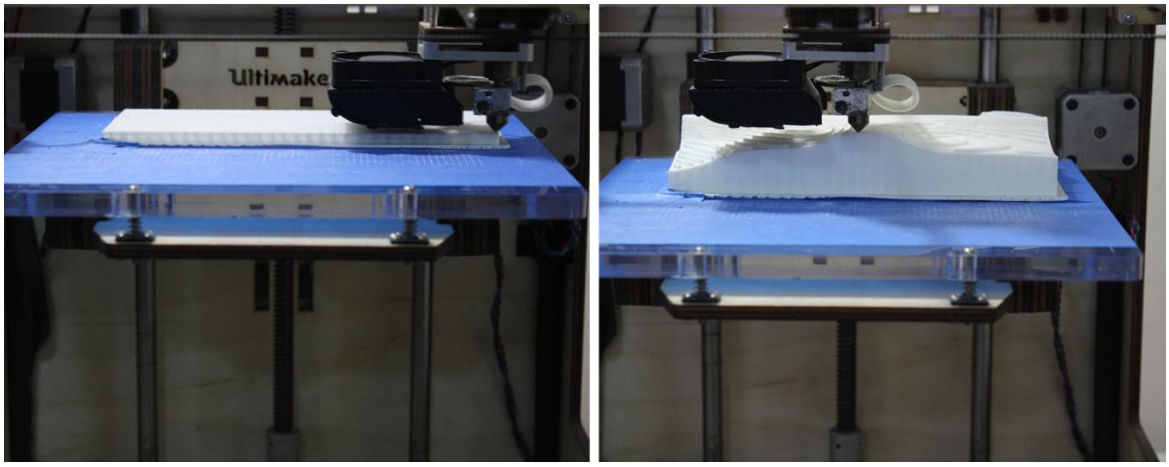


Figura 216. Impresión de la pieza con Ultimaker Original mediante PLA

En la imagen vemos el proceso de impresión a su inicio y ya casi concluido. Podemos ver cómo sobre la plataforma de impresión, que es de metacrilato, hay una película adhesiva color azul, que gracias a ella se nos facilitó la extracción de la pieza puesto que queda pegada a la plataforma. Seleccionados los valores adecuados, la impresión debe de salir sin ningún error y con la calidad esperada. En esta ocasión no vimos ninguna estructura de soporte que fuese prominente, salvo el pequeño cerco

que se creó antes de comenzar con la impresión real llamado falda o *skirt*, para que nuestra pieza se adhiera mejor a la plataforma.

Figura 217. Impresión finalizada. Detalle de la misma y encuadre global

Una vez la pieza realizada, se valoraron las diferentes posibilidades de acabado. En esta ocasión no le dimos un baño de vapor con solventes, puesto que al dorarla mediante electrólisis estimamos oportuno trabajarla en bruto ya que se le iban a dar ciertas capas con recubrimientos que acentuasen los detalles de la misma.

- Post-proceso: acabado

Una vez terminada la impresión 3D, es conveniente dejar la pieza un tiempo sin tocarla para que toda la estructura interna se asiente bien. Como los acabados de la impresión mediante FDM no son muy pulidos, tratamos este primer resultado mediante un baño dorado por electrólisis.

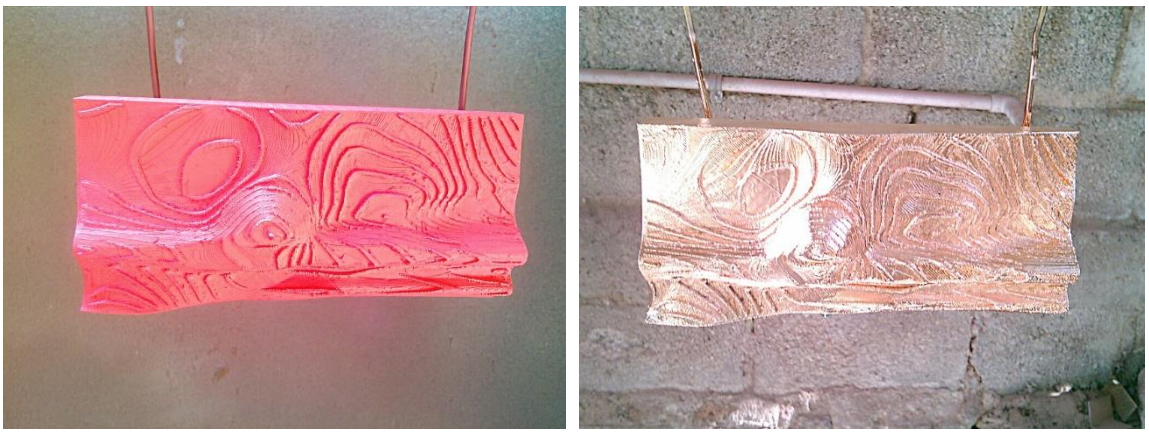


Figura 218. Fondeado con rojo primario y pintura conductiva color oro

Lo primero que hicimos en este proceso de acabado o terminación mediante electrólisis fue darle una capa primaria de fondeado con pintura universal roja a pistola. Una vez seco, le dimos dos capas de pintura conductiva color oro. Tras las capas de pintura, sumergimos la pieza en una solución de cobre alcalino con agua y unos aditivos como el ácido sulfúrico. Este primer baño fue para darle una fijación al cobre. Después, le dimos otro baño de cobre ácido con agua y aditivos, y ahí es donde se electroposita se hace un electroformado de cobre alcanzando un mayor brillo. Una vez aplicado el cobre electrolítico se le puede aplicar cualquier producto o terminación (plata, oro, paladio, rodio, níquel, etc.). En nuestro caso optamos por un baño electrolítico de latón, que le aporta esa terminación. Estos procesos se hacen seguidos, uno tras otro sin dejar mucho tiempo para que el metal no sufra una “pasivación” y cambie de color.

En este caso en particular, cuando sumergimos la pieza en los baños de cobre, se hace una contrapresión, ya que al estar impresa la obra al 20% de relleno, que es relativamente hueco, tiende a flotar, y debido a esta contrapresión que hacemos la pieza se inunda del baño de sulfato de cobre. Con lo cual, al sacarla, al no tener esa presión, tiende a salir poco a poco el exceso de sulfato de cobre generándose una oxidación constante hasta que termina de salir el líquido de la pieza. Una opción para evitar esto sería meter la pieza en una centrifugadora para que expulse el ácido lo más rápido posible, porque tarda mucho al estar saliendo por pura gravedad y no por ninguna presión, o realizar la pieza al 100% de relleno, lo cual supondría mayor coste, material, peso y tiempo de impresión.

Esta oxidación formada por el anión sulfato y el catión cobre hace que se acumule en las estrías externas que añadimos a la pieza. Este efecto consigue que la pieza quede mucho más llamativa, acentuando la linealidad de las estrías y generando un aspecto más antiguo que es lo que buscábamos.

Figura 219. Pieza expulsando el sulfato de cobre

Por último, le dimos una pátina antigua (solución de ácidos con hierro que atacan la figura) para que adquiera un aspecto más envejecido. Se pude ejecutar sumergiéndola durante unos segundos en la solución de ácidos o vertiendo directamente el ácido sobre la pieza. Después fuimos limpiando y puliendo la obra para dejar ver la última capa de acabado que le aplicamos -la de latón- y cuanto más limpiábamos, más se dejaban ver los tonos del color latón. Sin nos pasamos de pulido llegaríamos hasta la siguiente capa que sería la del cobre. Para sellarla y finalizarla le aplicamos con una capa de “laca automotiva” (laca de poliuretano alto sólidos) para proteger la obra, y que no perdiese así su color y no tener que darle un mantenimiento, puesto que si la puliéramos continuamente perdería ese aspecto envejecido.

5.5.2.2 PCI.NOIR_2014 (gold edition)

En esta ocasión, partimos de la misma premisa que la obra anterior (con lo que no explicaremos en detalle todo el proceso exhaustivo de la misma), sino que nos enfocaremos en los diferentes resultados que se han ido generando. La idea de estas obras fue la de comparar el proceso creativo partiendo de la deconstrucción realizada de las piezas de PVC espumado con la construcción de otras piezas, utilizando el mismo modelo digital pero ejecutadas mediante procesos de impresión en 3D.

- Diseño en 3D: modelado digital

Para la realización de esta segunda pieza, volvemos a partir de un modelo realizado con Rhinoceros y posteriormente tratado con ZBrush. Como sucede nos sucedió en la obra anterior, hay vértices que quedan flotantes y debemos subsanar, para que la pieza quede sin oquedades y la impresión salga como esperamos. Este proceso de acomodar el modelo es necesario, puesto que de lo contrario nos aparecerán problemas o errores de impresión. Una vez importada la pieza a ZBrush, observamos lo siguiente:

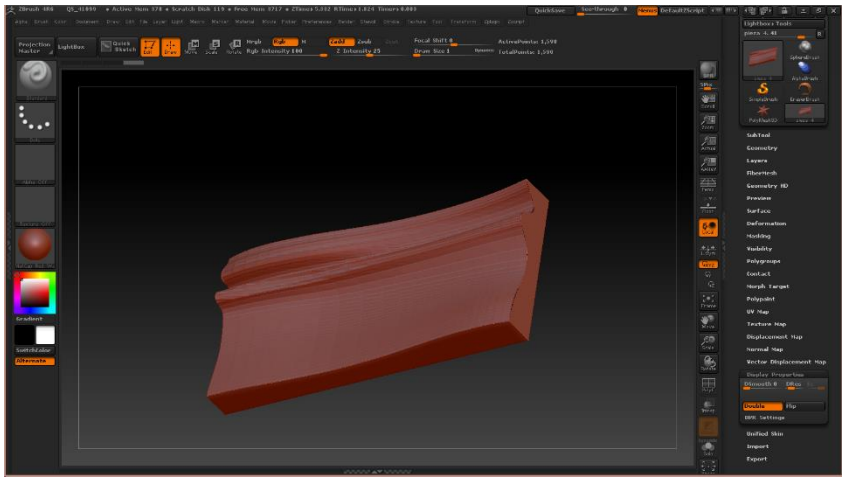


Figura 220. Pieza abierta con ZBrush. Observación de partes flotantes

Al diagnosticar esa oquedad en la figura, volvimos a utilizar la herramienta de *Dynamesh* generando una base de malla geométrica libre. Gracias a este paso las partes flotantes se combinaron con el resto del modelo, haciendo que se sellen los

bordes y manteniendo la opción de *Project* activada para conservar las formas originales.

Tras este proceso utilizamos la operación *Claypolish*, para pulir y suavizar más la pieza, reduciendo el nivel de biselado, y pasando después a la “subdivisión” en dos niveles para aumentar aún más el “poligonaje” de la pieza.

Como esta pieza también la realizamos con PVC espumado, establecimos oportuno realizar una similitud mediante este programa para luego ver las diferencias de acabado con respecto al otro proceso de realización (partiendo de la deconstrucción).

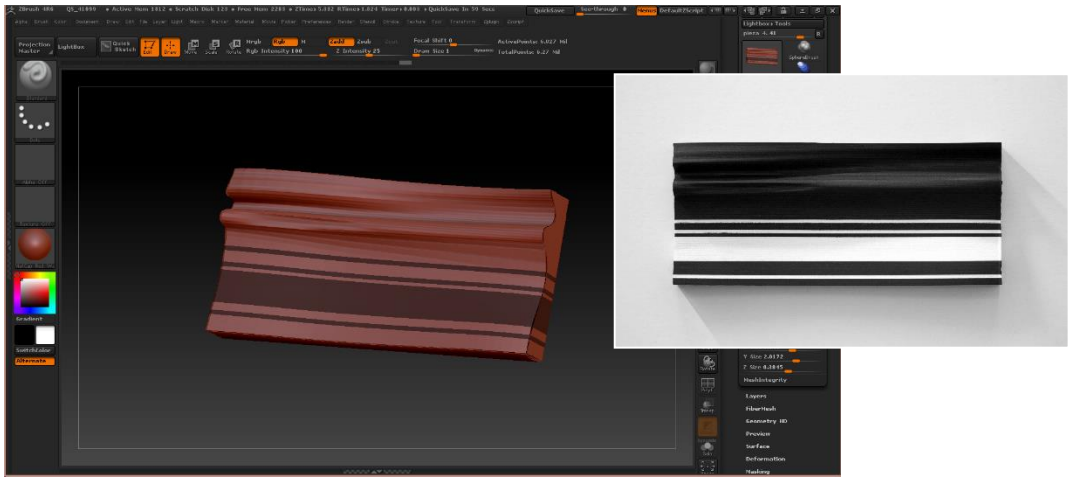


Figura 221. Empleo de una máscara para establecer una comparativa con nuestro anterior trabajo

Como paso final con ZBrush, realizamos la *Decimation* para la reducción del “poligonaje” puesto que el modelo pesaba mucho y a la hora de trabajar con él con otros programas será más manejable.

- Impresión en 3D mediante Ultimaker Original

Tras finalizar nuestro segundo modelo, se exportó en STL para comenzar con el “rebanado” del mismo mediante Cura, y así generar el *g-code.*

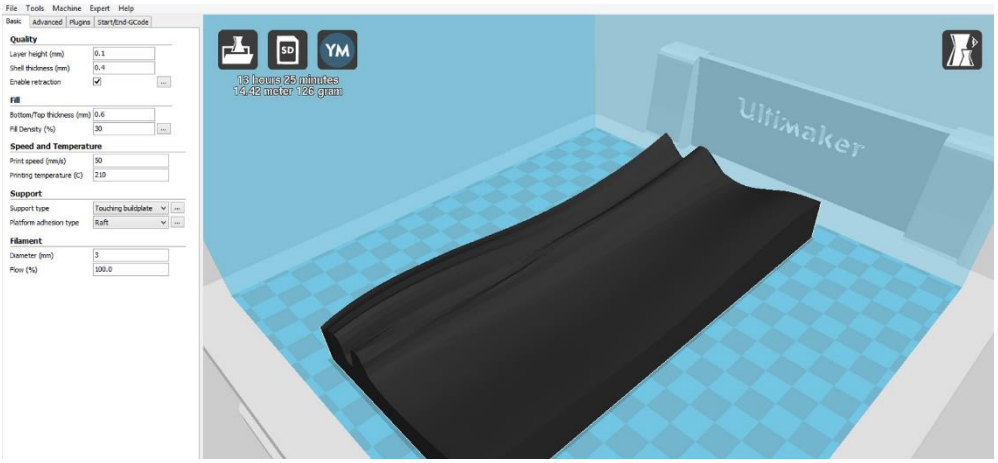


Figura 222. PCI.NOIR_2014 (*gold edition*) abierta con Cura. Pre-visualización y ajustes de impresión

Una vez, todos los parámetros de impresión ajustados (diámetro del filamento, temperatura de impresión, porcentaje de relleno, etc.), se realizó el *slicing* que mostramos en la siguiente imagen.

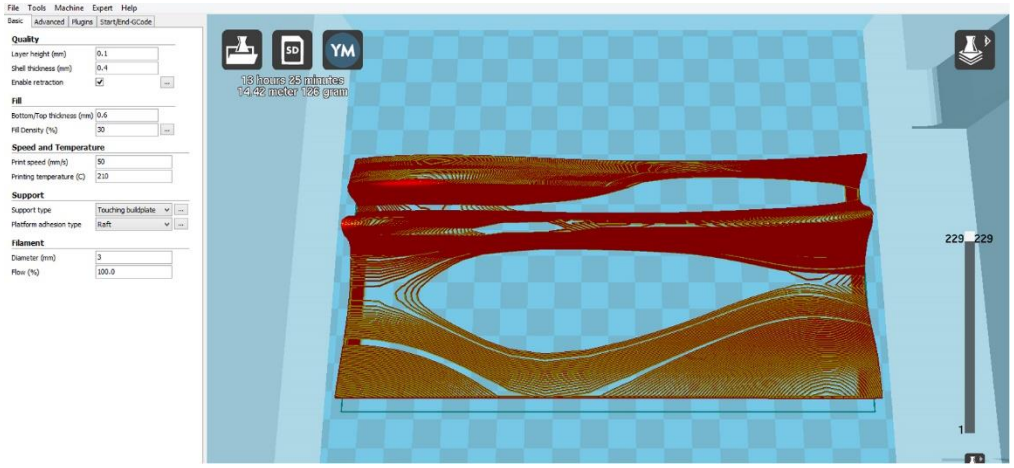


Figura 223. Realización del *slicing*

Al realizar el *slicing* se pueden ver las capas que se van a imprimir, y ver la estructura interna de la figura. Por otro lado, se observa como al introducirnos en ella, el panelado nos muestra a qué porcentaje de relleno se va a imprimir.

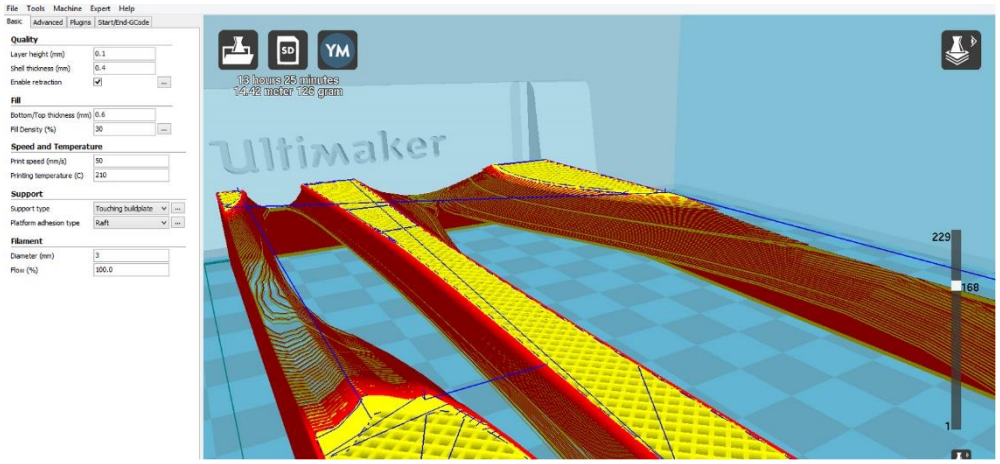


Figura 224. Parte interna de PCI.NOIR_2014 (gold edition) por capas

Al estudiar nuestro modelo, realizamos el *g-code* para que nuestra máquina pudiese detectar cada una de las capas y comenzar así con la impresión en 3D. Habiéndolo guardado en una tarjeta de memoria como medio para el traspaso de datos.

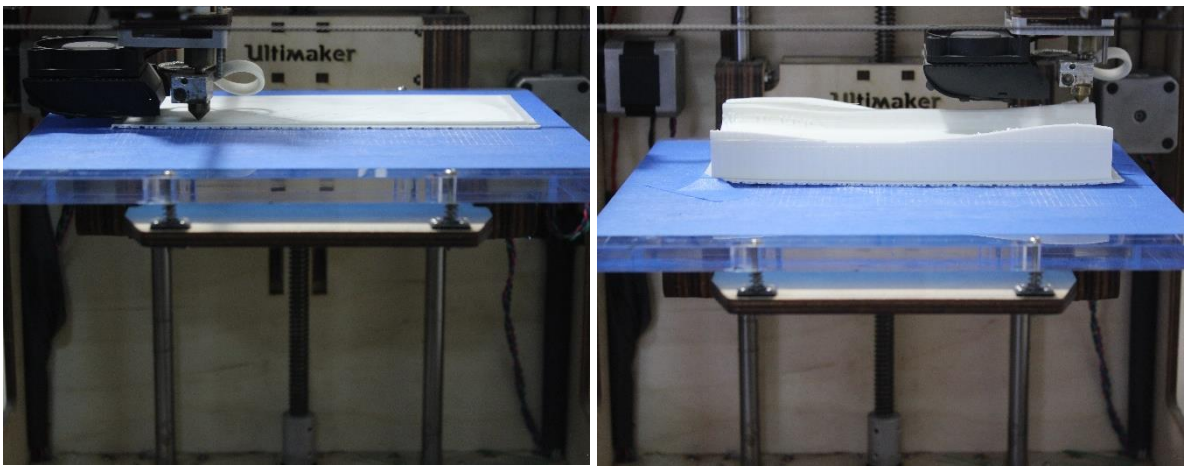


Figura 225. Impresión de PCI.NOIR_2014 (gold edition) con PLA

En nuestra impresión realizada, visualizamos el inicio de proceso y la pieza casi finalizada. Aquí tampoco se generó una estructura de soporte, puesto que en pieza predomina la horizontalidad y no tiene bordes salientes de la misma. También remarcar que, en este tipo de piezas tan geométricas en cuanto a la base rectangular se refiere, la impresión tendió a pandear por lo que tuvimos que aplicar un refuerzo para que hiciese contrapeso y no se despegase la figura de la plataforma, ya que si ocurría esto deformaría la impresión.

Figura 226. Impresión finalizada. Detalle de la misma y encuadre global

Al finalizar PCI.NOIR_2014 (gold edition), realizamos un lijado superficial para extraer la rebaba de los bordes que quedaban de material extruido y le dimos un baño de tetrahidrofurano para suavizar las estrías de la misma. Al trabajar capa a capa, se observan los saltos o escalones de cada capa, sobre todo cuando la superficie es plana.

- Post-proceso: acabado

En esta segunda pieza empleamos también el baño electrolítico como terminación salvo que, en esta ocasión, el acabado de la pieza no queda igual debido a que este modelo carece de estrías sobresalientes como el anterior; lo cual supondrá que la oxidación se depositará en otros lugares.

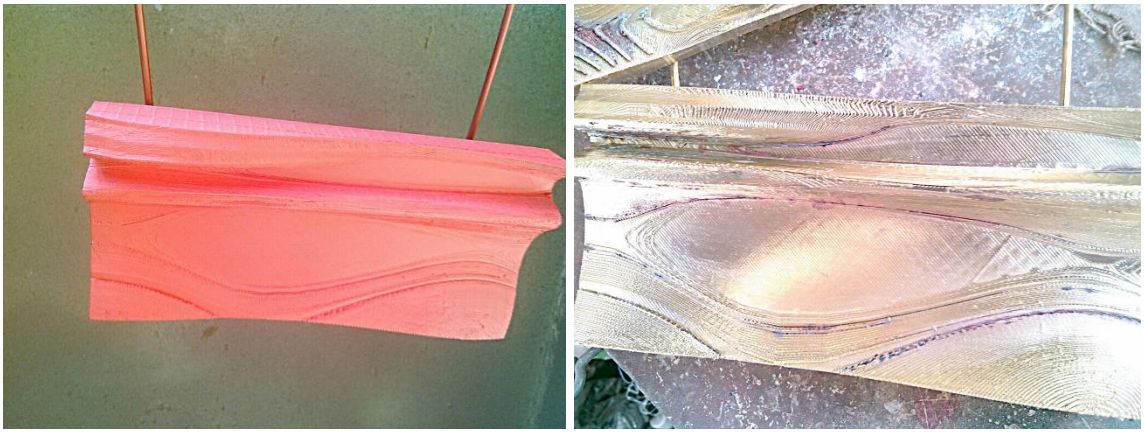


Figura 227. Fondeado con rojo primario y pintura conductiva color oro

El proceso del baño electrolítico es igual que en la pieza anterior, partiendo de una primera capa de fondeado en rojo con pintura universal y dos capas de pintura conductiva color oro. Tras las capas de pintura, sumergimos la pieza en una solución de cobre alcalino y luego en cobre ácido para que se hiciese el electroformado de cobre. Seguidamente se aplicó otro baño electrolítico para darle una terminación en latón.

En este caso, volvió a suceder lo mismo que anteriormente, al sumergir la pieza en los baños se generaba una contrapresión por la oquedad de la figura impresa, inundándose del baño aplicado. Lo que provocaba que al sacar la obra fuese saliendo poco a poco y se generen oxidaciones, pero a diferencia de la anterior, como este diseño carece de estrías, dicha oxidación se acumulaba en las zonas cóncavas de la pieza como si de un estanque se tratase.

Como paso final, le aplicamos la pátina antigua para darle ese aspecto envejecido que buscábamos, y que a su vez hiciese que se camuflase más la oxidación a nivel global, limpiándola en las partes donde no tenía oxidación para compensar el tono y que no se acentuase aún más. Para protegerla le aplicamos con una capa de “laca automotiva” para que no perdiese su color y conserve su estado envejecido durante más tiempo.

5.5.2.3 C.I_2014 (gold edition)

En este primer cráneo, ya solo utilizamos el programa ZBrush para la elaboración del mismo, con lo que nos ahorraremos varios pasos previos como en los dos modelos anteriores. En cuanto al acabado de la figura, nos apoyamos en los resultados de la primera pieza con estrías, puesto que el baño electrolítico adquiere un aspecto más envejecido.

- Diseño en 3D: modelado digital

Para la ejecución de nuestra obra personal, partimos de un esqueleto humano anatómicamente correcto, del cual se retira únicamente el cráneo. Estando ya precargado el mismo en el programa ZBrush, se aisló el cráneo del cuerpo con la técnica de separación por grupos.

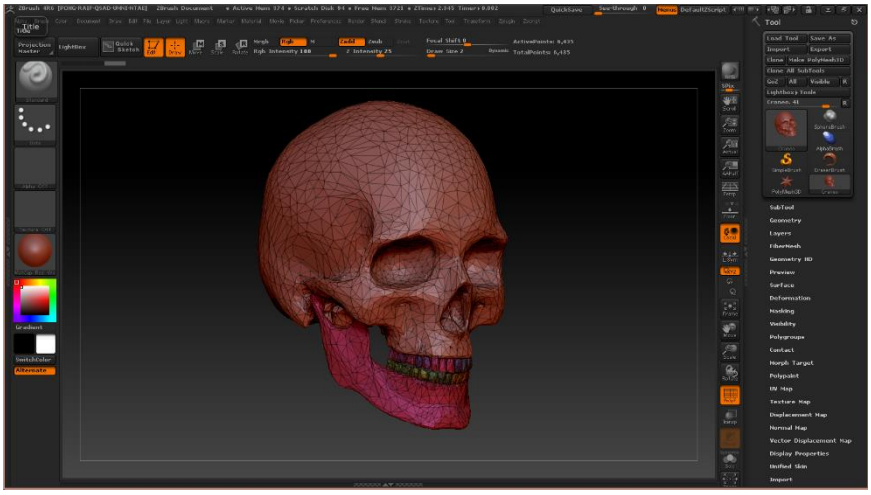


Figura 228. Cráneo anatómicamente correcto con maxilar inferior señalado

Una vez el cráneo separado del esqueleto, el maxilar inferior se separó del superior con la misma técnica para realizar una apertura de la boca. Tras esta operación, los dientes quedaron unidos entre sí con lo que tuvimos que agruparlos y desplazarlos juntos para alcanzar al maxilar inferior.

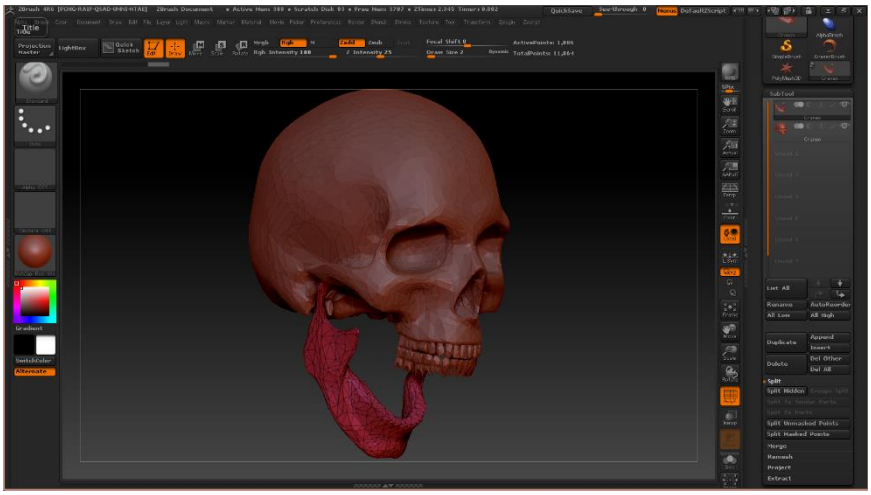


Figura 229. Cráneo anatómicamente correcto con maxilar inferior separado

La pretensión de realizar esta apertura era con la intención de darle una mayor agresividad al cráneo. Pronunciando las cavidades orbitarias y algunas otras partes como el malar o la apófisis cigomática, se logró una gestualidad que humanizó más nuestro modelo. Otro complemento que hizo que potenciara este objetivo fue la posibilidad de añadirle una lengua humana, generando así una dialéctica entre lo vivo y lo muerto.

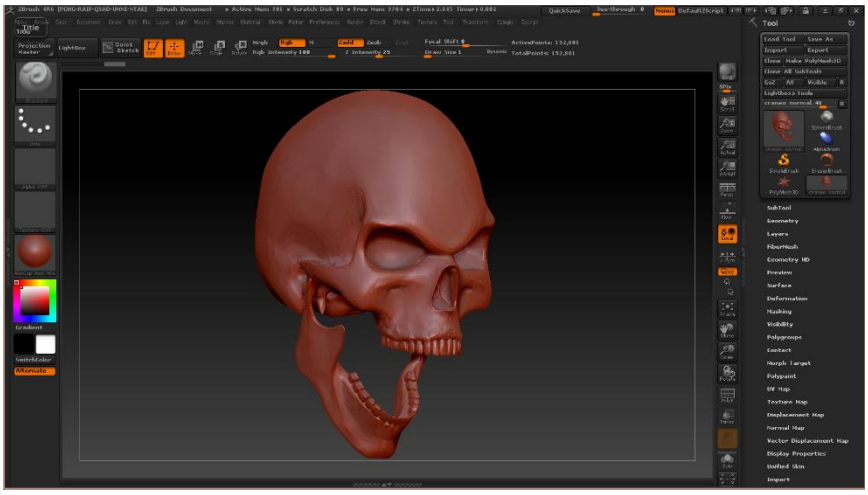


Figura 230. Cráneo deformado. Dientes unidos al maxilar inferior

Una vez obtenida la silueta deseada, aumentamos el rango de detalle. Para que esto último fuese posible, tuvimos que *subdividir* el objeto en tres niveles, con el fin de obtener líneas bien definidas. Tras la realización de las deformidades del

cráneo, le aplicamos una máscara y borramos las partes de las cavidades de los ojos y la nariz de la máscara aplicada para que se leyese mejor el cráneo y adquiriese la profundidad de los huesos nasales y las cavidades orbitarias.

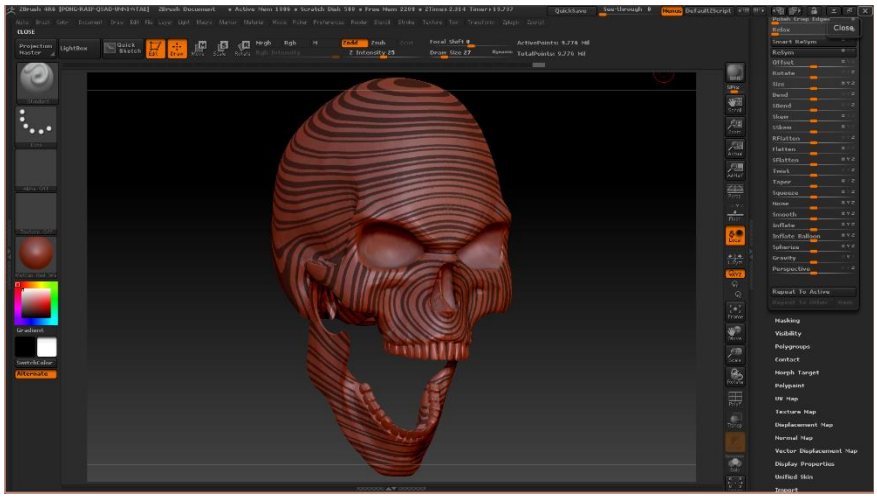


Figura 231. Cráneo con las cavidades desvanecidas y la máscara

Para finalizar nuestro modelo, para que la máscara aplicada quedase en relieve, una vez colocada donde queríamos, lo que hicimos fue invertirla y aplicar un deformador, en este caso *squeeze* +3. Este modificador se puede usar tanto en negativo como en positivo, aplicándolo en nuestro caso en la zona invertida para que las estrías adquiriesen cierto relieve, puesto que lo que hace es aumentar las partes no enmascaradas del cráneo. También es necesario reducir el peso general del modelo sin perder detalle, y esto es posible a través del proceso de “teselado” o “decimado”.

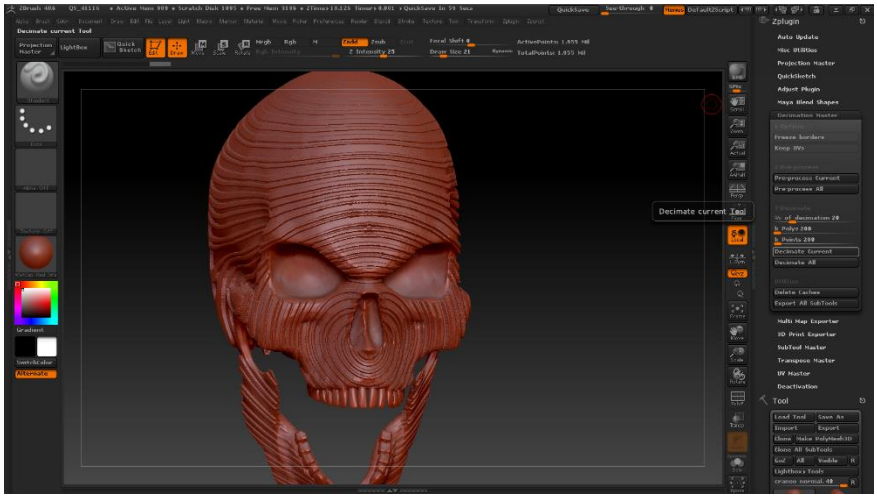


Figura 232. Modelo en 3D finalizado

- Impresión en 3D mediante Ultimaker Original

Una vez concluido el modelo 3D y teniéndolo exportado en STL, procedimos a realizar el *slicing*. Para este caso se realizó una configuración de 0.15 mm de capa de altura como resolución de calidad y se acomodaron las piezas de la forma que mejor resultase para crear la menor cantidad de soporte posible[65], ahorrando así tiempo y material.

A continuación, mostramos una captura del proceso de seccionado por capas, donde se pueden apreciar por separado la base del cráneo y el maxilar inferior.

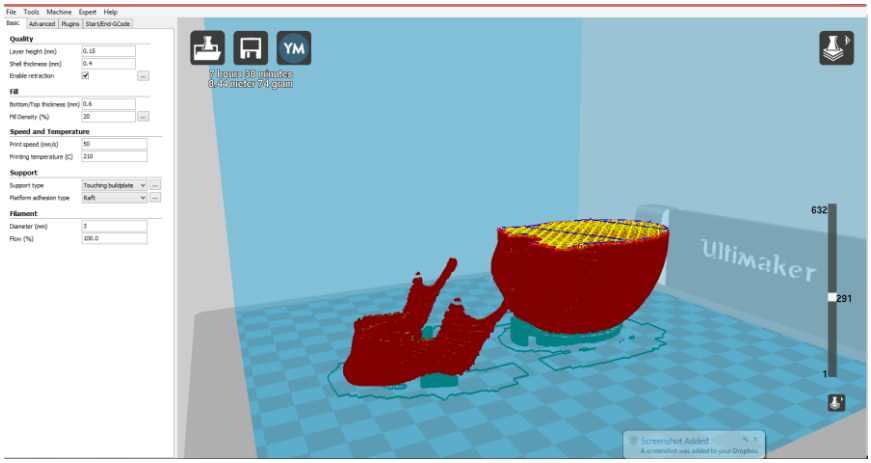


Figura 233. Seccionado por capas (*slicing*) y ajustes de impresión

Paralelo a estos pasos, y antes de comenzar con la impresión y generar el *g-code*, ajustamos los parámetros de impresión, tales como el porcentaje de relleno, diámetro del filamento o la temperatura de impresión como ya vimos en los ejemplos anteriores.

[65] Las estructuras de soporte son generadas en algunos procesos de impresión, como el FDM, como base de apoyo para la impresión de las partes que quedan más sobresalientes en el espacio. Esta parte suele imprimirse a un porcentaje menor de relleno o a una calidad inferior para que se pueda separar de la figura con más facilidad. También puede acontecer que se imprima con otro material hidrosoluble como sucede con el método Polyjet, que hará que esa separación entre estructura de soporte y figura sea más limpia.

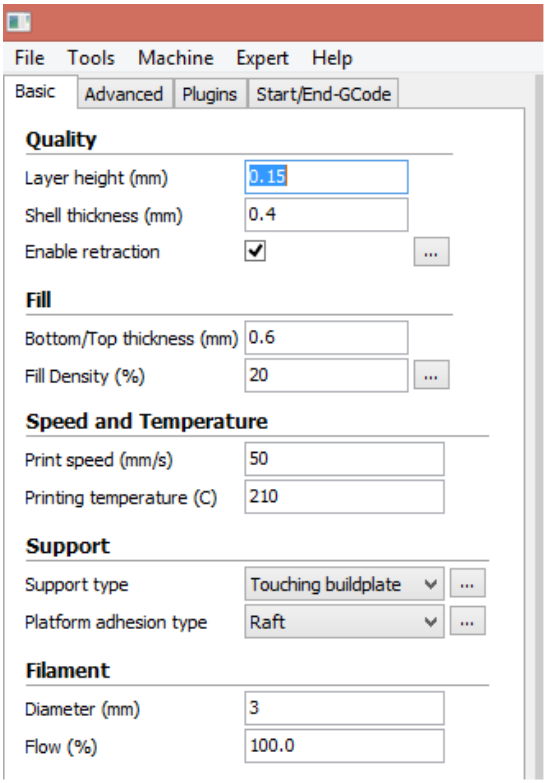


Figura 234. Configuraciones del proceso de impresión

Una vez este todo bien ajustado, generamos el *g-code* y comenzamos con la impresión 3D. Mencionar también que en esta ocasión, como íbamos a volver a darle un acabado con electrólisis, le agragamos las estrías o líneas que envuelven todo el cráneo para que el acabado envejecido quedase más conseguido.

Figura 235. Impresión de C.I_2014 (gold edition) con PLA

En esta ocasión pudimos apreciar una pequeña estructura de soporte entre los huesos occipital y parietal de cráneo (parte posterior), ya que la base del cráneo que iba a estar apoyada en la plataforma de construcción tenía una forma convexa, con lo que precisaba de un apoyo que le diese estabilidad a la impresión.

- Post-proceso: acabado

Como el acabado directo no es muy pulido y al extraer la plataforma de construcción siempre quedan restos de material, comenzamos dándole a la pieza un baño con tetrahidrofurano (THF)[66]. Aclarar que este baño con materiales como el ABS se suele realizar con acetona y con esto lo que conseguimos es atenuar la altura entre capa y capa, con lo cual cuanto más reducida sea la altura de capa de nuestra impresión, más fácil será disimular los saltos de las mismas. Como la acetona no ataca al PLA, usamos el tetrahidorfurano como sustitutivo de la misma para que nos dejase realizar ese acabado.

Figura 236. Baño de vapor con tetrahidrofurano para pulir la pieza

Tras darle este baño a las dos partes de nuestra pieza, cráneo y mandíbula, lo concluimos mediante un baño dorado electrolítico. El proceso es exactamente el

[66] Este tipo de baños con solventes conviene hacerlo en lugares abiertos puesto que, al darle el baño en caliente, el vapor que despide es bastante nocivo. Conviene ir revisando la pieza y sacarla un poco antes del recipiente cuando veamos que el resultado está casi listo ya que el solvente continúa atacando a la pieza incluso fuera del recipiente y nos podemos pasar de difuminado. El tetrahidrofurano o THF, es un solvente dipolar empleado para disolver polímeros y para la fabricación de envases. Véase la hoja de seguridad en el enlace: http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1823sp.pdf

mismo que en las piezas anteriores por lo que mostraremos el acabado final en el siguiente aparado.

5.5.2.4 Huicholiano I

Tras haber realizado nuestro primer cráneo, aprovechamos el mismo modelo digital realizado con ZBrush pero sin aplicarle el deformador *squeeze* +3. Nuestro objetivo fue el de ir investigando los diferentes tipos de acabados posibles empleando la misma pieza impresa con nuestra maquina 3D.

- Diseño en 3D: modelado digital

En este segundo cráneo añadimos una nueva parte a nuestro modelo, tratándose de una lengua para aportarle connotaciones gestuales de un rostro humano.

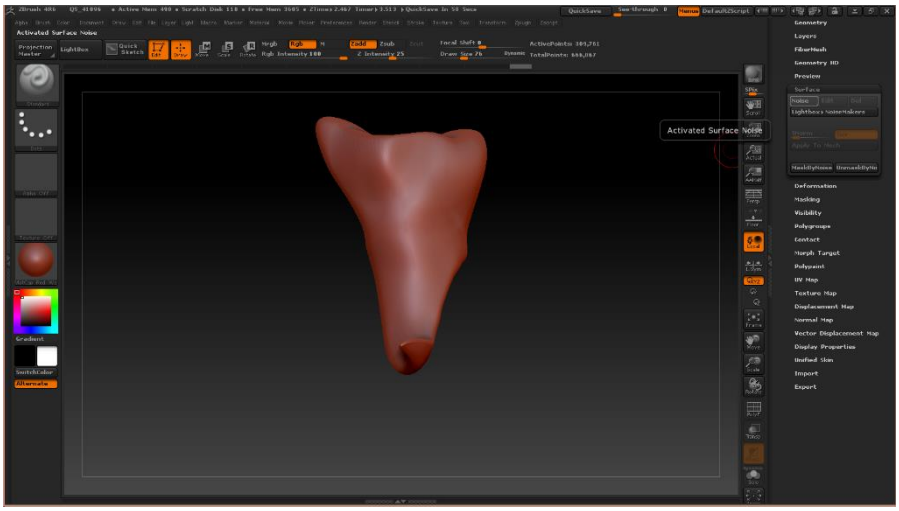


Figura 237. Modelo de una lengua realizado con ZBrush

Una vez obtenidas todas las partes modeladas se pasaron a Cura, y comenzamos así a generar los archivos necesarios para la impresión 3D.

- Impresión en 3D mediante Ultimaker Original

Una vez exportadas -en STL- las tres partes del cráneo a Cura, y realizado el *slicing* (*g-code*), se comenzó con la preparación de la impresora para iniciar el trabajo.

Como la pieza que realizamos tenía muchos detalles y se podía dividir en partes, fue conveniente hacer la impresión da cada una de las partes por separado. A continuación, se muestra un fragmento del proceso de impresión de la primera parte del cráneo, que a su vez se le sumó el maxilar inferior y la lengua.

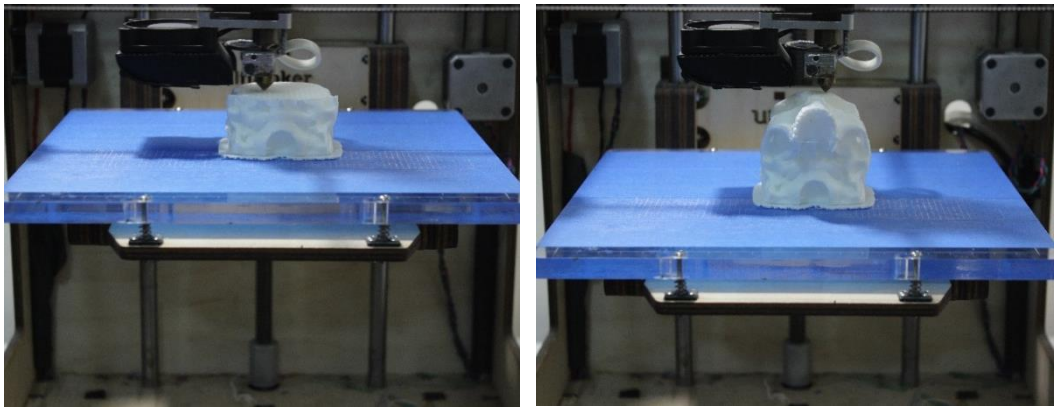


Figura 238. Huicholiano I durante el proceso de impresión con PLA

Para trabajar mejor el post-proceso de acabado, el realizar la pieza en varias partes nos facilitó darles diversas terminaciones y luego poder ensamblarlas todas como un cómputo total. A partir de la elaboración de esta pieza, no dimos el baño de THF para pulir la obra y que quedase más brillante, puesto que la íbamos a recubrir con chaquiras, pintura, oro…entre otros materiales que cubrirían casi la totalidad de la misma. Sino que una vez impresas las tres partes de la obra (la base craneal, maxilar inferior y lengua) fue cuando por seprado fuimos retirando los restos que habían quedado incrustados de las estructuras de soporte generadas en la impresión para dejar así las partes lo mas limpias posible.

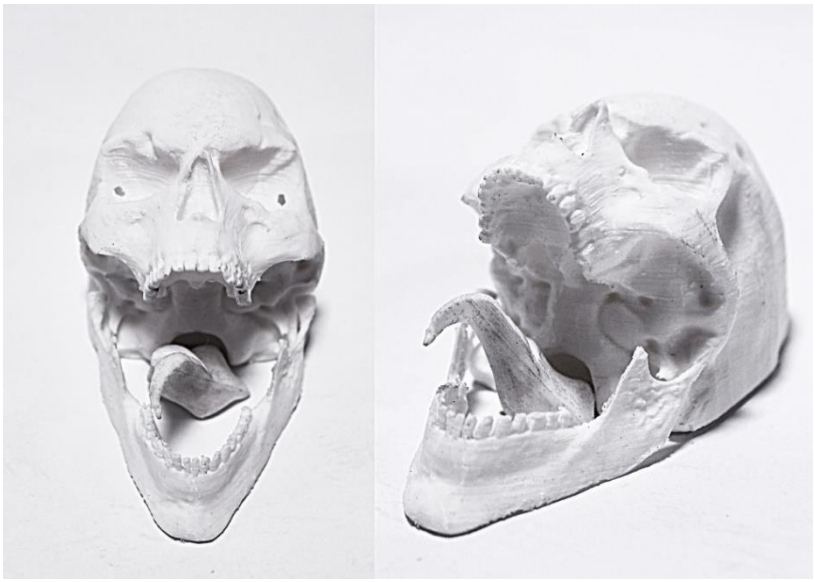


Figura 239. Impresión en partes: base craneal, maxilar inferior y lengua

- Post-proceso: acabado

Dado que la estancia realizada en México supuso una ampliación de cultura y técnicas picto-escultóricas, nos apoyamos en el arte huichol del estado de Jalisco para revestir nuestros cráneos con chaquiras[67] (unas pequeñas cuentas de vidrio muy comunes en este arte tradicional mexicano).

Los huicholes o *wixaritari* (en singular: *wixarika*) son uno de los cuatro grupos de comunidades rurales que habitan en una región conocida como el Gran Nayar, ubicada en el oeste central del país, en la Sierra Madre Occidental; principalmente en los estados de Nayarit, Jalisco, Durango y Zacatecas. El arte huichol tuvo su auge durante el siglo XX gracias a sus tablas realizadas con estambre y los famosos mosaicos de chaquiras; técnicas que se desarrollaron partiendo de la elaboración de ofrendas que más tarde pasaron a formar parte de su lenguaje propio, gracias a las artesanías que hoy en día encontramos como medio de sustento económico (Johannes Neurath, 2012).

En la cosmogonía huichola predominan una serie de motivos como las flechas con plumas que simbolizan a las aves, recurriendo a ellas mediante diferentes colores o formas en función del dios al que van a hacer la ofrenda[68]; un acercamiento con la naturaleza tanto animal ,resaltando la deidad del venado que es muy común en toda América ya que hace referencia con los dioses creadores del mundo, como vegetal ,sobre todo con la figura del peyote[69] como deidad de los pueblos recolectores o el maíz en los pueblos agricultores. El peyote a su vez adquiere una vital importancia debido a la conexión que ofrecía entre el mundo terrenal y espiritual, actuando como un portal hacia los dioses. Podemos observar la complejidad de la cosmogonía huichola gracias a la pluralidad de significados y personificaciones dedicadas siempre a los dioses de la naturaleza que fueron los que dieron el origen a todo lo existente (UDELAP, 2012).

Otro aspecto fundamental en la cultura huichol, a parte de la simbología de las formas que imperan en sus plasmaciones, es la importancia de la multiplicidad de

[67] La chaquira es un material con forma de una pequeña cuenta o abalorio de vidrio, predominante en algunas técnicas del arte huichol, que llegó a México en el siglo XVI.
[68] Un ejemplo claro lo vemos cuando la flecha es de color rojo hace referencia al venado y cuando es verde al peyote. Por tanto, cuando observamos una ofrenda vemos su lenguaje ante los dioses.
[69] El peyote o *Lophophora williamsii*, es un cactáceo que abunda en las zonas áridas de Norteamérica que van desde San Luis Potosí en México, hasta todo el sur de los Estados Unidos. Su uso estableció visiones alucinógenas en los grupos indígenas del norte de México.

colores por medio de las chaquiras con representaciones muy detalladas de la concepción del universo. La ingesta de peyote vuelve a cobrar importancia en la comunidad huichola debido a que perceptualmente altera la visión humana destacando la luminosidad y la saturación de los colores en varias fases del viaje que luego plasman para compartir con la humanidad, su visión y la toma de contacto con los dioses.

Figura 240. Parte superior del cráneo cubierta con cera Campeche y mesa de trabajo con chaquiras

Como ejemplo de trabajo final realizado con chaquiras de diversos colores, mostramos una parte de la obra final, previa al montaje de la misma en pleno detalle. La acumulación de chaquiras de diversos colores e intensidades conforman figuras geométricas que evocan a las visualizaciones proyectadas en los viajes internos “chamánicos” tras la ingesta de peyote. En esta calavera podemos apreciar figuras como el venado azul, la flor de peyote, el sol y el águila de dos cabezas, típicos en las representaciones huicholes. La idea del auto-retrato también cobra importancia en estas piezas puesto que las representaciones plasman la visión interior de cada individuo por medio de chaquiras en una misma superficie o lienzo, en este caso en 3D.

Figura 241. Huicholiano I cubierto con chaquiras de diferentes colores

Para finalizar la pieza y tras colocar las chaquiras en la base craneal y el maxilar inferior, mediante aerografía recubrimos la lengua con pintura verde agua y ensamblamos todas las partes. Si nos fijamos, la parte posterior del cráneo es plana y este hecho fue un punto a favor a la hora de imprimirlo porque no se generaron estructuras de soporte (ya que cuesta en ocasiones deshacerse de ellas quedando restos indeseados), y porque la idea era adosar la figura a la pared o mediante una enmarcación. De nuevo la idea de visualizar una obra escultórica como si fuera pictórica vuelve a estar presente, aludiendo al concepto de lo picto-escultórico.[70]

Al concluir la obra se realizaron diferentes pruebas de color para la colocación del fondo, observando como interactuaba el color de las chaquiras al integrarle un fondo u otro, optando por el negro sobre negro (marco negro sobre fondo negro). De esta forma, en función del fondo que le agreguemos, los colores interiores de la figura parecerán más oscuros o más claros dependiendo del color que esté próximo, es decir, con el que esté interactuando. Con esto pudimos apreciar como el mismo matiz de azul de la figura cambiaba totalmente si le agregábamos un fondo blanco en vez de negro, intensificando o apagando el mismo matiz de azul variando el color que lo rodea.

[70] Para más información, véase: Capítulo 2

Esta idea de los cambios de intensidad generados por la interactuación de los colores blanco y negro sobre un mismo tono ya lo estudio Josef Albers (2003) en su libro *La interacción del color* cuando hablaba de la intensidad luminosa y la luminosidad comparándola con la música y afirmando que, si un músico no es capaz de discernir entre una nota aguda y una grabe, lo mismo ocurriría con un pintor con respecto a los tonos de color. Josef Albers habla de las imágenes en relación con las fotografías que predominan el blanco y negro; pero cuando se imprime una imagen sobre fondo blanco, solo se emplea el negro y a su vez podemos percibir una gran cantidad de matices de grises resultantes de distintas gradaciones de color. Por tanto, estos matices se complementan entre sí mediante diferentes grados, siendo los tonos oscuros los más pesados. Pero habrá colores que de un golpe de vista no sepamos con certeza cuál es el más oscuro y el más claro, por lo que propone un estudio de gradación mediante la recolecta de muestras de papel gris ya que la fotografía registra y mide los tonos de forma diferente a como lo hace el ojo humano.

Otra cuestión que trata Josef Albers (2003) es cómo un color puede parecer dos colores o como tres pueden parecer cuatro en función de los colores de fondo, o lo que es lo mismo que como un color nos muestra caras diferentes dependiendo del fondo que le coloquemos y de las tonalidades del mismo. Pero lo complicado será encontrar que tres colores parezcan dos planteando la siguiente cuestión: “¿Qué color desempeñará simultáneamente los papeles de los colores de los dos fondos recíprocos?” (p.31).

La conclusión según el autor, es que aun teniendo una amplia catalogación de tonalidades algunos colores están más próximos a un tono de fondo que al otro, por lo que puede suceder que no encontremos tonos que estén igual de próximos o distantes a ambos fondos, teniendo que ser los fondos lo que alteremos para que se desvíen o aproximen al color intermedio.

Por otro lado, aludiremos al concepto de representación de la exposición de la bisutería en vitrinas, ya que el cráneo al tener volumen y querer adosarlo a la pared, optamos por colocarlo sobre una vitrina a medida. En cualquier exposición de objetos valiosos o de gran fragilidad, siempre se recurre al empleo de vitrinas por estar herméticamente cerradas, preservando las piezas del polvo y estableciendo una distancia con el público para evitar cualquier contacto.

En el caso de las chaquiras, al colocar una a una sobre una base de cera natural, es conveniente aislar la pieza lo máximo posible y evitar que se exponga al sol directo

puesto que, al elevar la temperatura de forma constante, la cera podría calentarse o incluso derretirse causando desprendimientos innecesarios. Actualmente los huicholes están trabajando también con otro tipo de adhesivos como pegamentos o siliconas transparentes, pero no es un cambio en el que se sientan cómodos trabajando, debido a que estos secan muy rápido y nos les permite interactuar más con las obras como cuando emplean la cera. Estos nuevos componentes, siempre los tratan mezclándolos con la cera, que es uno de sus emblemas de trabajo, por lo que evitan perder la tradicionalidad; aunque en algunos trabajos les exijan el empleo de estos adhesivos más resistentes como el famoso Volkswagen Sedán repleto de 2 millones 277 mil chaquiras, comúnmente llamado como “vocho”, que fue bautizado como Vochol (mezcla de los términos “vocho” y huichol, finalizado en 2010).

5.5.2.5 Huicholiano II

Como el modelo de este cráneo es exactamente igual que el anterior vamos a omitir los primeros pasos del modelaje en 3D y la impresión, puesto que lo que nos interesa es ver la diferente terminación que le aplicamos tanto con otra variedad cromática de chaquiras como con la aplicación de láminas de pan de oro a la mixtión.

- Post-proceso: acabado

Obtenidas las tres partes de la obra impresas (la base craneal, maxilar inferior y lengua) fuimos retirando por separado los restos incrustados de las estructuras de soporte generadas en la impresión para dejar las partes lo más limpias posible.

Aquí de nuevo volvimos a recurrir a las chaquiras para revestir el cráneo casi por completo. En la siguiente imagen mostramos el sistema de trabajo que utilizan los huicholes para trabajar con ellas como elemento decorativo en cierta figura, en las que mediante unas agujas, que las rellenan de diferentes tipos de tonalidades de chaquiras, van colocándolas sobre la figura que previamente ha sido recubierta con cera Campeche trabajada con las manos para calentarla y que se adapte mejor a la superficie.

Figura 242. Agujas-chaquiras y mesa de trabajo mostrando la preparación de las mismas

Tras la preparación de nuestro material de trabajo, fuimos depositando chaquira a chaquira sobre toda la superficie del cráneo. En este caso también se empleó una gran cantidad de tonalidades, pero dejamos al descubierto las cavidades de los ojos y la nariz, puesto que estas fueron trabajadas con otro tipo de acabado.

Las figuras que envuelven este cráneo son la flor de peyote, el sol, el ángel y la lluvia, que son representaciones que tienen que ver con la existencia humana. Los huicholes veneran el peyote puesto que, en su cosmovisión y prácticas rituales, tiene una importancia vital al considerarlo el corazón de sus deidades-antepasados.

Figura 243. Huicholiano II cubierto con chaquiras de diferentes colores

Tal y como nos indica Arturo Gutiérrez del Ángel (2011), en la cultura huichol, el peyote junto con la peregrinación no se pueden entender si no los vinculamos con los ciclos festivos anuales y los ciclos agrícolas de los cuales forman parte.

Como pincelada final de este proceso de recubrir el cráneo con diversas técnicas mediante la utilización de pan de oro concluiremos nuestra obra.

A la hora de trabajar con oro hay que tener especial atención al tipo de técnica que se va a emplear, en este caso el dorado a la mixtión, que parte del empleo de un barniz especial, en este caso barniz a la mixtión blanco, que es un barniz al agua indicado para la colocación de láminas de pan de oro sobre cualquier superficie. Tras colocar las láminas y limpiar la pieza, le aplicamos dos capas de barniz antioxidante para metales “cinco aros” con acabado brillante, para proteger el oro y que se conserve mejor. Si prestamos atención, estamos fusionando dos artes tradicionales con el empleo de las nuevas tecnologías como las impresoras 3D con:

- El arte mexicano de los huicholes. Que ya en el siglo XVIII aparece en ornamentos de carácter religioso en bordados y en los “dechados” o muestrarios realizados con agujas de cobre y espinas de cactus sobre telas de lino, canevá, yute o lustrina, desarrollando una gran variedad de puntadas y tonalidades.
- La imaginería religiosa entendida como talla o pintura de imágenes religiosas.

Actualmente el concepto de imaginería se emplea tanto en pintura como escultura para la representación de Jesucristo, la Virgen, los santos o escenas bíblicas en las que la técnica del dorado, ya sea al agua o a la mixtión, adquiere una gran importancia. El dorado es uno de los procesos junto con la talla, la encarnación (consiste en dar apariencia humana a las partes cárnicas de la figura como rostro, manos y pies), el estofado o la policromía, que más se emplean en este tipo de representaciones (Lico Rodriguez, 1997). El método que nosotros empleamos es a la mixtión que consiste en, una vez colocadas todas las chaquiras, damos una fina capa de mixtión blanco en el resto del cráneo y dejamos pasar unas horas (dependerá de la temperatura ambiental). Es conveniente dejar pasar unas horas si la mixtión no está lista como menciona Constancio Amich Badosa (1957) en su libro *Manual del dorador*

sobre madera remarcando la importancia de los buenos productos y los tiempos de secado:

> En este sistema debe evitarse el empleo de los malos productos en cuanto que hay mixtión y mixtiones. Los de buena calidad no son negros de color, sino de un castaño rojizo y muy transparentes, no muy grasos, pero sí untuosos; no deben secarse antes de las doce horas después de haber sido dados un más tarde de las 24. Una mixtión es buena para dorar cuando deja de pegarse a los dedos de la mano y produce ruidos al frotarla con los mismos. (p.82)

Por consiguiente, para que el dorado quede sano y brillante; y una vez quede totalmente transparente y veamos que está mordiente, vamos colocando las láminas de oro ya cortadas con la ayuda de una polonesa[71] y las asentamos con otro pincel de cerdas suaves.

Tras dejar pasar unos días para que seque la mixtión y se asiente bien el oro, retiramos con la ayuda de un pincel de cerdas suaves los restos de oro que no se han adherido para limpiar la figura. Se recomienda evitar la superposición excesiva de los cortes de las láminas de pan de oro para evitar pérdidas de material al escobillarse. Después de esta operación puede ser que algunos fragmentos salten porque no se han adherido bien, con lo que tendremos que resanar[72] las partes que no tengan oro. Como observamos, los materiales empleados para dorar a la mixtión son prácticamente los mismos que en el dorado al agua, pero en los procesos de dorado al agua es más fácil detectar o visibilizar esas zonas puesto que previamente se le da una capa de bol de armenia o embolada, ya sea rojo, amarillo o negro, con lo que contrasta más con el oro y a su vez le dará otro tipo de brillo.

Por último, aplicamos dos capas de barniz metales “cinco aros” como terminación de la misma. También observamos el juego de contrastes que se generaban tras cambiar el fondo de color, destacando el blanco puesto que al tener oro la figura y estar enmarcada en una vitrina, la luz rebota en el oro y adquiere una

[71] En la técnica de dorado se necesitan muchos materiales específicos para trabajar con el oro puesto que es un material que viene en forma de finas láminas y precisa de los mismos. La polonesa o pelonesa, es un pincel de forma plana rectangular que nos sirve como medio de transporte desde el pomazón (superficie acolchada donde depositamos el oro para cortarlo) hasta la figura o superficie que vallamos a dorar.

[72] Cuando doramos una figura o superficie, independientemente de la técnica que utilicemos, es muy común que algunos fragmentos de oro salten durante todo el proceso, por lo que se realizará un resanado o retoque de las partes que no contengan oro para unificar toda la obra y finalizarla con el barniz antioxidante para metales para una mejor conservación.

mayor luminosidad, acentuándose los tonos cálidos de la misma y adquiriendo el fondo blanco un matiz más cremoso.

5.5.2.6 Shewi

Con esta cuarta creación, realizamos una pequeña conversión o modificación del cráneo actual, optando por seccionar la bóveda craneal y dejando mostrar el cerebro. En este cráneo partimos de la monocromía en blanco y negro a diferencia de los ejemplos anteriores que destacan por la policromía de chaquiras y diferentes tonalidades. El oro también adquirirá un papel importante aquí puesto que el cerebro que es la única parte viva de la obra, lo recubrimos con oro junto con un diente.

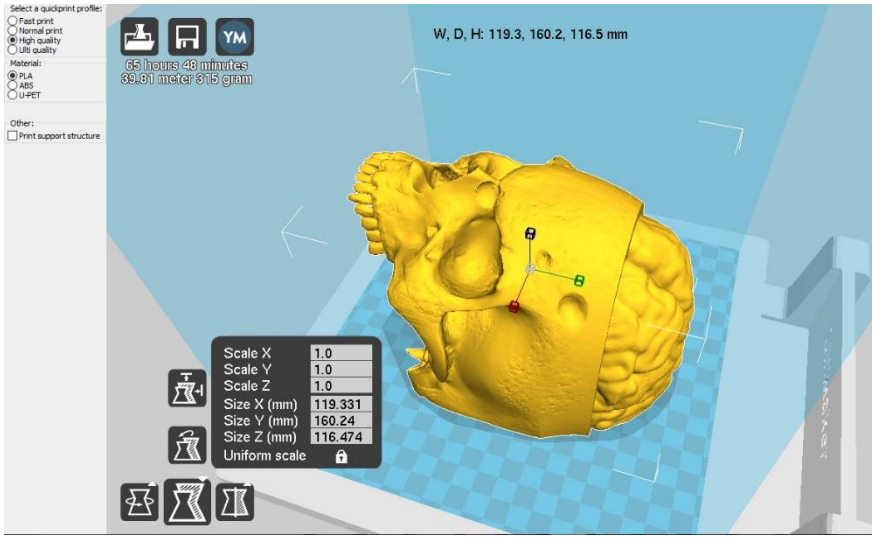


Figura 244. Modelo 3D importado en Cura con las medidas de impresión

- Post-proceso: acabado

Siempre trabajamos con las diferentes partes de la figura impresas y cubiertas con chaquiras por separado, y una vez concluidas realizamos un estudio o pruebas de color para ver que tipo terminación realza mejor la figura.

Figura 245. Maxilar inferior impreso recubierto con chaquiras y

Esta pieza fue impresa en varios tonos de gris para poder darle un acabado con esmalte acrilico satinado negro de la marca Brugüer. Previo a este paso, realizamos pruebas de color con varios tipos de pintura como con monocapas universales acrilicas de poliuretano con dos componentes (Besa-nato)[73], para ver la capacidad cubriente de cada una de ellas. Al pintar toda la parte interna del cráneo, pasamos a darle el dorado al mixtion en algunos detalles.

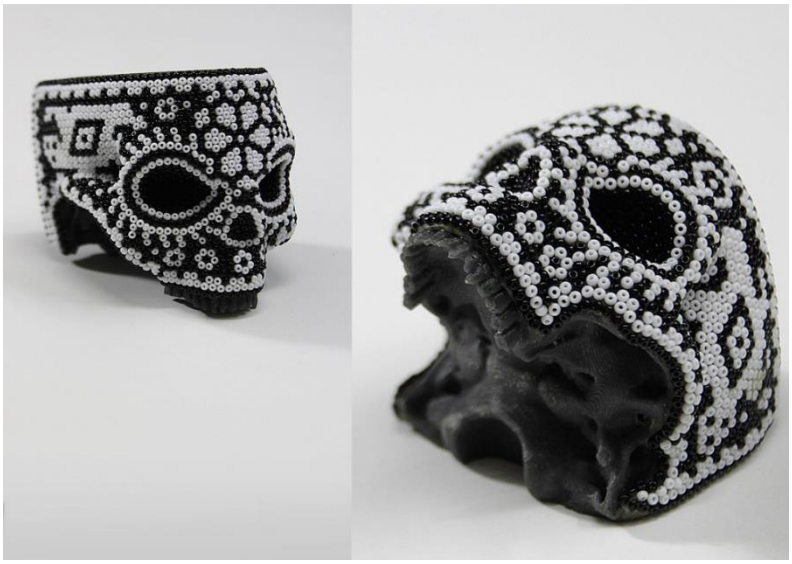


Figura 246. Impresión finalizada de la base craneal cubierta con chaquiras

[73] Éstas pruebas están almacenadas en el apartado de ANEXOS al final de nuestra tesis, mostrando dichos ejemplos con imágenes del antes y el después de la aplicación para ver el comportamiento de los distintos tipos de pintura y su capacidad cubriente sobre el PLA.

Al finalizar la obra realizamos el estudio cromático del fondo y el tipo de enmarcación, optando por colocar un fondo blanco ligeramente roto sobre un marco blanco satinado. Las enmarcaciones colocadas hasta ahora eran vitrinas cuyas molduras destacaban por su simpleza para no resaltar más que la figura interna y focalizar la mirada del espectador en la misma; pero en esta pieza la enmarcación destacó por el empleo de una moldura con hojas de acanto talladas. Estas hojas basadas en una planta silvestre con el mismo nombre que crece espontáneamente en el sur de Europa, son probablemente unos de los motivos en la talla en madera más empleados, y el estilo de esta hoja, desde su introducción en la Grecia clásica ha ido variando en función de la época, siendo a veces muy estilizada con lóbulos angulares y terminaciones en punta como las decoraciones bizantinas, y otras veces fusionada con volutas en las que se dificulta el inicio y final de la parte natural de la hoja.

> El follaje de las hojas de acanto es quizá el convencionalismo mejor conseguido que se ha introducido en la decoración. Data de la Grecia clásica y está basado en una planta silvestre que recibe el mismo nombre. Según la leyenda, cuando se dejaron sobre el suelo los bloques de mármol para la construcción de un templo, el acanto creció a su alrededor y sus hojas se curvaron formando volutas.
> (William Wheeler, 1997, p.67)

No obstante, una característica común en las distintas representaciones es que las hojas tienen lóbulos, ya sean redondeados o puntiagudos, y cada uno de ellos nace de un punto en común. Pero fue en el Renacimiento con su vuelta a la ornamentación clásica cuando se produce un desarrollo de las ornamentaciones con hojas de acanto enfocadas en el ramaje y perfeccionándolo al máximo. En los estilos que le prosiguen, este formalismo se degenera ya que la ornamentaría moderna procura buscar sus propios modelos en todos sus estilos que por norma general no tienen un carácter definido.

5.5.2.7 Tatewari

El último cráneo que imprimimos no tiene nada que ver con el resto ya que la forma humana se desvanece convirtiéndose en un animal en forma de cabra. En el modelo que presentamos importado en Cura se ve la pieza en su totalidad, pero a la hora de imprimirla la fraccionamos en el cuerno derecho, cuerno izquierdo y base craneal. Aclarar que en esta ocasión la sección del cráneo no se hizo en la base sino en los cuernos, puesto que al tener cierta curvatura son los que primero tocan la superficie, quedando el cráneo flotando y con cierta inclinación. Esto hizo que la altura de la pieza sea mayor que ninguna de las que hemos impreso hasta ahora.

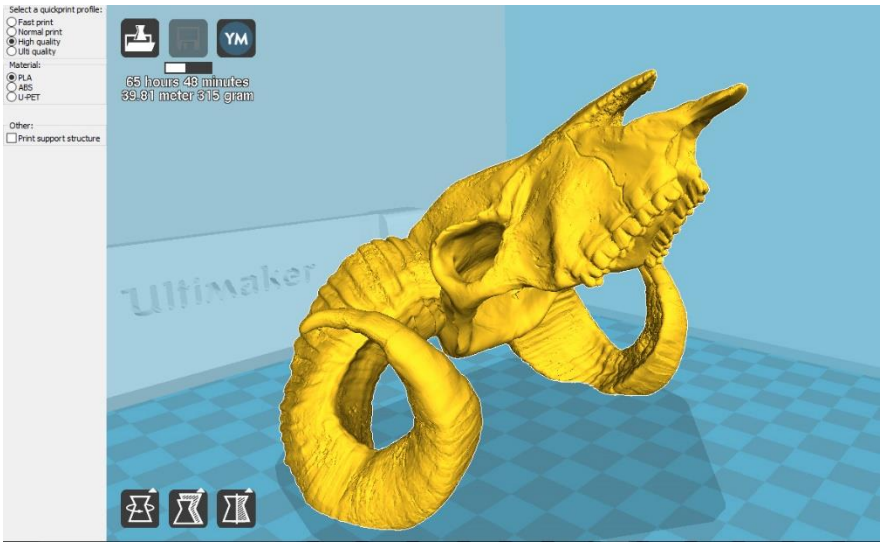


Figura 247. Modelo 3D importado en Cura con el tiempo de impresión

- Post-proceso: acabado

Al fraccionar la pieza en partes, tuvimos que ensamblarlas todas , pero la sección que realizamos de la parte que unen los cuernos con el craneo no encajaba perfectamente por lo que tuvimos que realizar ciertos ajustes a posteriori.

Figura 248. Cuerno impreso y base craneal cubierta con chaquiras

Se observó también que el cráneo fue impreso en blanco y los cuernos en negro, pero este hecho no supuso ninguna traba porque le dimos una terminación total en oro a todas las partes que no estuvieran recubiertas con chaquiras.

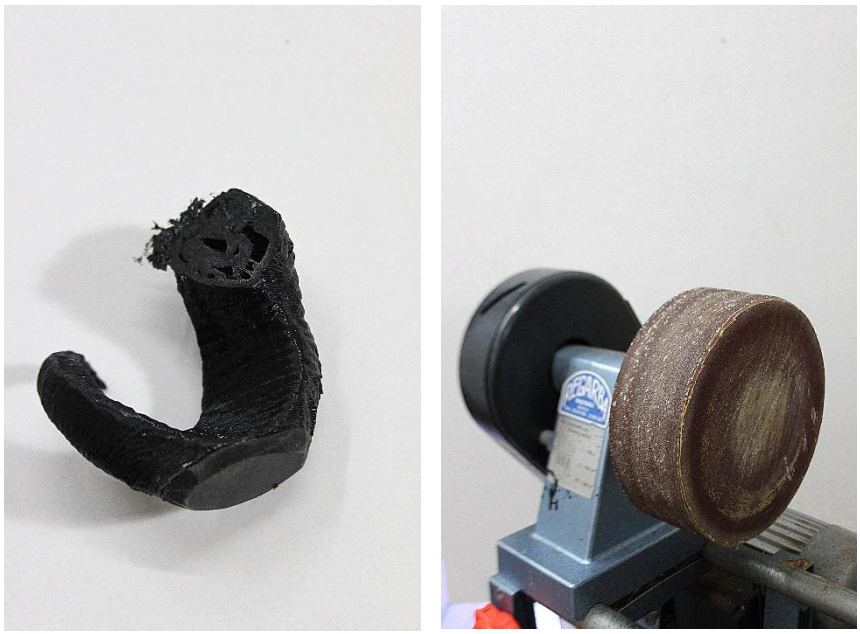


Figura 249. Cuerno lijado y torno para madera con lija acoplada

Uno de los ajustes principales que tuvimos que mejorar fue la altura del cuerno derecho puesto que era más bajo que el izquierdo y quedaban en diferentes alturas. La solución fue realizar una pequeña base de PVC espumado -material ligero y de fácil manipulación- ya que con el apoyo de una gubia de tallar madera pudimos ajustar los bordes para que quedaran con la misma inclinación que el cuerno. Otro aspecto que tuvimos que controlar fue el ángulo de la sección del cuerno que va adosada al cráneo mediante una lija para madera acoplada a un torno. Con este tipo de lijado, como trabaja por fricción, hacía que se calentara el material cambiando de color y siendo más maleable para poder deformarlo en caliente, pero cuando el plástico se solidificaba en cuestión de segundos, volvía a su estado y color original.

Figura 250. Sistema de pegado de los cuernos mediante cuña de madera

A la hora de realizar el pegado de los cuernos, como el cráneo quedaba flotando, tuvimos que realizar un apoyo que tuviera la misma angulación que la posición craneal final (unos 22º aproximadamente) para que mientras secaba la silicona en caliente que habíamos aplicado no se derrumbase. El uso de la silicona fue para rellenar de esta forma las oquedades resultantes entre el cráneo de la cabra y los dos cuernos.

Otro ajuste que no contábamos con tener que ajustar fue el de pulir la superficie interna del cráneo ya que, al imprimirlo, la estructura de apoyo que se generó complicó la separación del mismo con la plataforma de construcción de nuestra impresora, dejando restos indeseados. Como la parte interna del cráneo con una lija nos es

imposible pulir los bordes y rebabas resultantes debido a la curvatura y la concavidad de la misma, empleamos un pirograbador para ir fundiendo el material y así unificar las partes restantes de la estructura que no pudimos separar o lijar.

Figura 251. Tatewari completo. Pirograbador fundiendo las partes sobrantes

El último paso que se realizó fue la aplicación de pan de oro a la mixtión en los dos cuernos y el cráneo, junto con el sistema de enmarcación. Aquí de nuevo el oro juega un papel importante puesto que, al enmarcarlo, partimos del mismo todo de paspartú que el cráneo anterior (color blanco roto), pero al ser la obra de diferentes colores y en este caso llevar más oro, hacer que rebote la calidez de los tonos de la misma, pareciendo que el fondo es otro tono mucho más cremoso, como si fuera un tono por encima de paspartú. La enmarcación aplicada en este caso también partimos de una vitrina cuyo fondo es blanco roto sobre una moldura barroca color blanco puro. La comparativa con nuestra anterior pieza vuelve a acontecerse el tema de la percepción visual en tanto que nos engaña al partir de un mismo fondo con diferente color superpuesto.

5.6 EJEMPLOS DE MATERIALIZACIÓN DE LAS PIEZAS

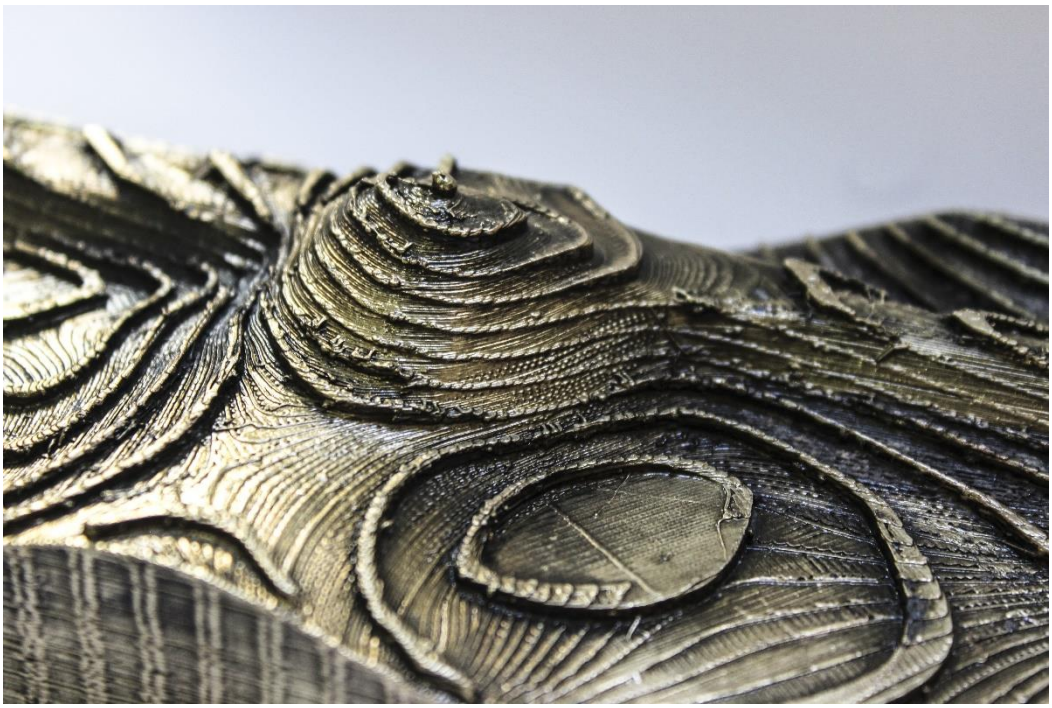


Figura 252. PCI.BLANC_2014 (*gold edition*)

Pedro Alonso, 2014/15. Primera prueba de impresión 3D readaptada. PLA impreso en 3D con terminación dorada por electrólisis. 43 x 27,5 x 5cm. Universidad de Guadalajara (CUAAD), México

Figura 253. PCI.NOIR_2014 (*gold edition*)

Pedro Alonso, 2014/15. Segunda prueba de impresión 3D readaptada. PLA impreso en 3D con terminación dorada por electrólisis. 43 x 27,5 x 5cm. Universidad de Guadalajara (CUAAD), México

Figura 254. C.1_2014 (*gold edition*)
Pedro Alonso, 2014/15. Primer cráneo impreso en 3D. PLA impreso en 3D con terminación dorada por electrólisis. 8 x 12 x 10cm. Colección del artista, México

Figura 255. Huicholiano I.

Pedro Alonso, 2015/16. Segundo cráneo impreso en 3D. PLA impreso en 3D, chaquiras y aerografía. 25 x 21 x 9cm. Colección del artista, España

Figura 256. Huicholiano II

Pedro Alonso, 2015/16. Tercer cráneo impreso en 3D. PLA impreso en 3D, chaquiras y pan de oro. 25 x 21 x 9cm. Ayuntamiento de Elda, Alicante, España

Figura 257. Shewi

Pedro Alonso, 2015/16. Cuarto cráneo impreso en 3D. PLA impreso en 3D, chaquiras y pan de oro. 25 x 21 x 9cm. Colección del artista, España

Figura 258. Tatewari

Pedro Alonso, 2015/16. Quinto cráneo impreso en 3D. PLA impreso en 3D, chaquiras y pan de oro. 25 x 25 x 11cm. Colección del artista, España

5.6.1 Propuesta expositiva y participación en certámenes

La realización de estas piezas siempre estuvo enfocada en cuestiones relacionadas con la participación en certámenes artísticos para así poder alcanzar una mayor difusión y poder optar a la realización de exposiciones de las mismas.

Esta segunda parte de nuestro trabajo enfocada a la idea de la construcción en relación a las máquinas de impresión en 3D, es un proyecto aún abierto que acaba de iniciarse en este mundo expositivo, habiendo participado algunas de estas propuestas en el “XXXVII Certamen de Minicuadros”, Elda, Alicante, obteniendo los siguientes resultados:

- Premio Ciudad De Elda, XXXVII Certamen de Minicuadros, Elda, Alicante. Exposición colectiva en el Museo del calzado de Elda, 2016.
- Exposición colectiva centro de cultura de Petrel, XXXVII Certamen Minicuadros, 2016.
- Exposición colectiva centro cultural las Cigarreras, XXXVII Certamen Minicuadros, Alicante, 2016.

Al estar aún por concluir este periodo artístico relacionado también con el arte tradicional mexicano de los huicholes, será necesario para completar y concluir esta propuesta, realizar una exposición de las mismas respaldada con una serie de diseños como invitaciones, catálogo, cartelería y difundirlo mediante las redes sociales también para alcanzar una mayor difusión.

Como el proyecto aún está por culminar, aportamos una serie de fotografías del Certamen Internacional de Minicuadros.

XXXVII CERTAMEN MINICUADROS

JURADO MINICUADROS 2016

RAMÓN GARCÍA
ALEJO NEGRO
ROSA SANTOS

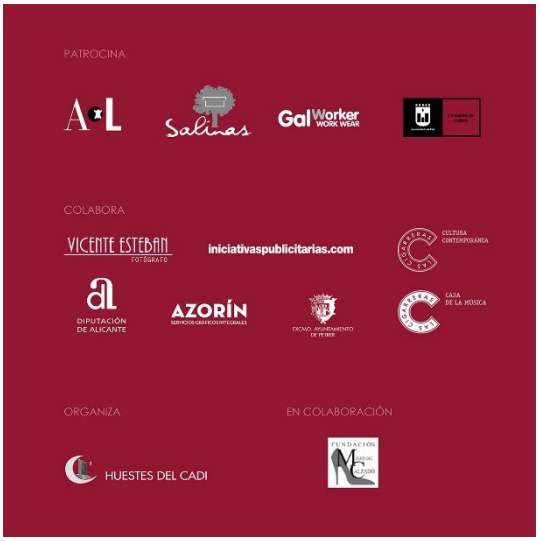
PEDRO ALONSO UREÑA

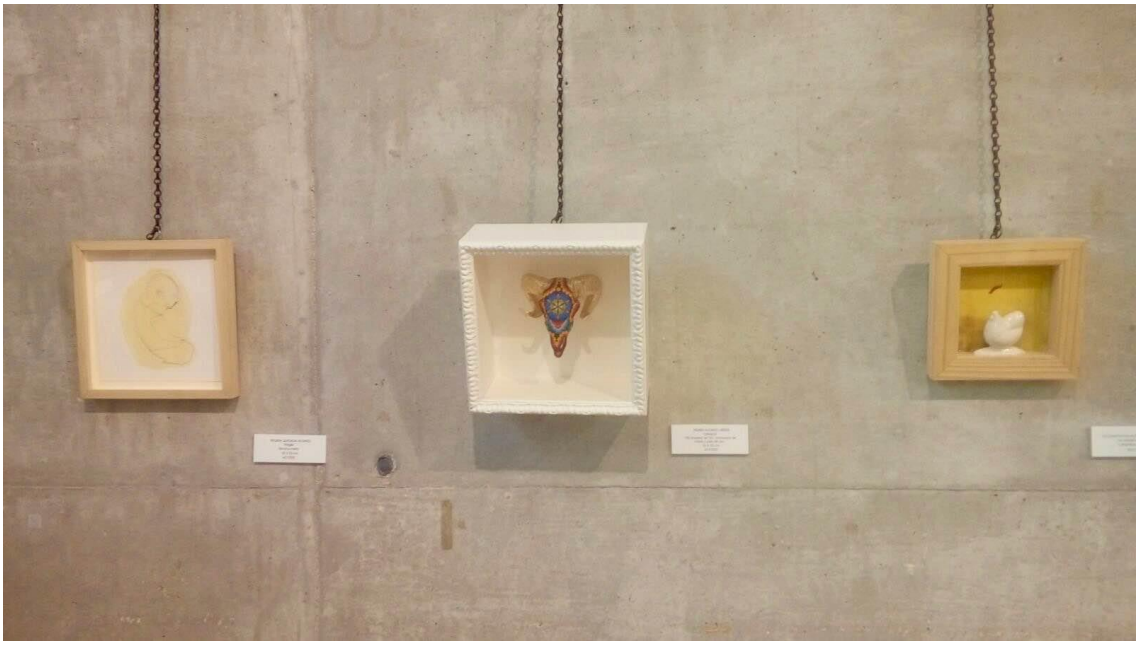
Huichialiano I
PLA impreso en 3D, chaquiras
y pan de oro
25 X 21 x 9 cm

PEDRO ALONSO UREÑA

Huicholiano- II
PLA impreso en 3D, chaquiras y pan de oro
25 X 21 x 9 cm

PREMIO CIUDAD DE ELDA. OBRA ADQUIRIDA POR EL EXCMO. AYUNTAMIENTO DE ELDA





Accésit en el XXXVIII Certamen de Minicuadros, Elda, Alicante. Exposición colectiva en el Museo del calzado de Elda 2017.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y VALORACIÓN FINAL

Como colofón a esta investigación, se hace pertinente plasmar por escrito los resultados a los que hemos llegado, después de un largo proceso como el que nos ha ocupado. Es por ello que, a modo de recordatorio, volvemos nuestra mirada a los objetivos que en su momento nos marcamos, para contrastar hasta qué punto hemos sido capaces de alcanzarlos. De este modo, el objetivo principal de esta tesis perseguía la realización de un proyecto artístico que a modo de resumen, aglutinara los temas expuestos adecuadamente; contextualizados y reforzados por una investigación teórico-práctica en torno a los nuevos materiales en el arte contemporáneo, y los procesos industriales de fresado e impresión en 3D.

Los contenidos de esta tesis ponen de relieve que el desarrollo de obras plásticas con materiales de origen industrial como el PVC (de calandra y espumado), así como el PLA, teniendo como premisa su vinculación con el adelanto tecnológico experimentado por las máquinas de control numérico computarizado (CNC), y las impresoras 3D, nos ha permitido construir un universo artístico con identidad propia. En ese sentido podemos afirmar que el objetivo principal que nos habíamos marcado, ha sido plenamente satisfecho.

Para alcanzar ese logro personal, fue necesario un enfoque metodológico que aglutinara cuestiones de distinta índole, y que lógicamente han perfilado la estructura de la misma en cinco partes destacadas. Así, en los **capítulos 1 y 2** de nuestra investigación, nos introdujimos en el estudio de materiales y procesos productivos industriales, que en su mayoría procedían de sectores ajenos a la creación artística, pero que a nuestro modo de ver, perfectamente podían ser adaptados a conceptos relacionados con la construcción y la deconstrucción, principios estos últimos presentes en gran parte del arte contemporáneo.

Por otra parte, y más en los tiempos de internet y de la globalización, sería ingenuo por nuestro lado, considerar que los avances estéticos, surgen de la nada. Por ese motivo, fue necesario dedicar el **capítulo 3** de nuestra investigación al análisis de influencias y referencias artísticas potencialmente válidas para nuestro proyecto.

La ingente cantidad de ensayos plásticos necesarios para llevar a buen puerto nuestro proyecto ocupa un lugar destacado en los **capítulos 4 y 5** de esta tesis. En

ellos, se muestra con todo detalle el proceso de las numerosas pruebas con materiales plásticos, y con máquinas de CNC e impresión 3D, que hemos llevado a cabo. En esas pruebas, se han establecido pautas que nos han permitido ir descartando procesos y materiales, para adaptar otros que en principio no habíamos contemplado. Consideramos, que este *corpus* argumenta nuestra selección de materiales finales y procesos de elaboración, mediante fichas técnicas de los ensayos realizados, siendo desde nuestro punto de vista, la gran aportación de esta tesis. Los resultados aquí alcanzados, deben ser valorados muy positivamente, dado que finalmente, el conjunto de experimentaciones presentes, nos han permitido desarrollar un método de trabajo personal y plenamente inscrito en el ámbito artístico, al tiempo que los datos aportados, facilitarán el avance en una línea de trabajo que hasta el momento, consideramos que no había sido lo suficientemente abordada.

Por último, en relación con los objetivos planteados, hemos previsto una exposición en la sala de la Facultad de Bellas Artes prevista entre el 15 de septiembre y el 15 de octubre de 2017 en la cual sea posible dar visibilidad física al trabajo artístico realizado, poniendo en juego además de las propias obras, los conocimientos expositivos vinculados a ellas.

6.1 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Al inicio de esta investigación planteábamos una serie de interrogantes que, en su conjunto, establecían las claves fundamentales para formular la hipótesis de trabajo que ahora nos proponemos corroborar. En este sentido, nos preguntábamos ¿qué métodos de producción artística asociados al uso de materiales derivados del plástico, podrían ser viables expresivamente? A partir de ahí, realizamos una serie de estudios y pruebas para entrar en contacto con materiales y procesos mediante el método de análisis-síntesis. Esas primeras consideraciones nos llevaron de nuevo a contemplar dos premisas:

Primera premisa: el potencial que para la picto-escultura tiene el fresado y el uso de las máquinas de control numérico computarizado.

Segunda premisa: la viabilidad que para la picto-escultura tiene el modelado y la impresión en 3D.

Ahora, y con los datos de nuestra investigación, estamos en condiciones de afirmar que tanto las máquinas de control numérico computarizado, como las de impresión 3D, son herramientas válidas para la creación artística y tienen un gran potencial para tipologías como la picto-escultura.

La unión de lo tecnológico con lo artesanal, o de la artificialidad por repetición con la imaginación, hace que el empleo de las impresoras 3D no caiga en la reproducción de un modelo seriado, sino que los objetos impresos puedan aumentar sus posibilidades como obras singulares e individualizadas.

El nacimiento de nuevas técnicas picto-escultóricas, tiene que ver con nuestras necesidades continuas de novedad. La importancia de la tecnología y de los materiales en ese proceso es un hecho fundamental en el arte contemporáneo, pero también es un reflejo de las inquietudes y estilos propios de nuestra sociedad.

Podemos afirmar que se han conseguido los objetivos propuestos para la realización esta investigación, aun siendo conscientes del evidente grado de subjetividad que entraña la práctica artística en la que se inscribe. En ese sentido, y a modo de resumen y, dada la complejidad del proceso de investigación llevado a cabo, procedemos a enunciar desglosadas las conclusiones de cada una de las partes que conforman esta tesis:

6.2 CONCLUSIONES CAPÍTULOS 1 Y 2

- El plástico se ha convertido en unos de los materiales más recurrentes en el campo artístico del siglo XXI, destacando por su gran versatilidad, maleabilidad, y bajo coste.
- Hemos visto que la evolución de los plásticos tipo PVC y PLA, en los últimos cuarenta años ha sido extraordinaria, manifestándose en múltiples aplicaciones como la automoción, construcción, juguetería, menaje, informática, en incluso en campos como la medicina.
- Hemos profundizado en el conocimiento de los distintos tipos de PVC y PLA, y un poco más detenidamente en el PVC de calandra y el espumado, su definición, origen, características técnicas, propiedades generales y algunos de sus usos y aplicaciones, han sido de vital importancia para nuestra experimentación plástica.

- Es indudable que las propiedades físicas y estéticas que poseen los materiales sintéticos, les llevan cada día, a ser más empleados en la práctica artística; contribuyendo así, a la riqueza expresiva de las obras, mediante la incorporación histórica de esos nuevos materiales.
- Por norma general, la utilización del plástico en el ámbito artístico, está más asociada a la producción de piezas volumétricas debido a su composición y consistencia, aunque derivados como: el PVC de calandra, el espumado y el PLA, o ahora la pluma 3D, pueden romper esa tendencia encajando en obras de carácter bidimensional.
- Esa novedad del material está asociada a los nuevos procedimientos mecánicos desarrollados por la industria del plástico. Tras la II Guerra Mundial, procesos como el calandrado, la extrusión, compresión o el termo-moldeo, permitieron dotar a los plásticos de una gran variedad de formas, texturas, formatos y colores. Características en las que nos hemos apoyado para la materialización de este proyecto.
- Los nuevos procedimientos tecnológicos para el uso de los plásticos han estado impulsando el uso de nuevas máquinas que perseguían mejorar, agilizar y sustituir la labor manual. Entre ellas tienen un lugar destacado las maquinas CNC y las impresoras 3D.
- En los inicios estos sistemas de maquinado CNC y de impresión 3D eran sólo accesibles para grandes empresas, hoy con el abaratamiento de la tecnología, podemos decir que es una herramienta accesible a los estudiantes y profesionales de las Bellas Artes. En ese sentido, la FABtotum Personal Fabricator, nos ha permitido fresar, escanear e imprimir en 3D, simplemente cambiando el cabezal y la plataforma de trabajo.
- La gran disponibilidad de plásticos sintéticos y semi-sintéticos que encontramos en el mercado a nivel industrial obedecen a sus propiedades y aplicaciones capaces de sustituir plenamente a otros materiales. Del mismo modo hemos corroborado que el uso de los plásticos asociados al empleo de procesos de mecanizado con máquinas CNC y de impresión 3D también pueden sustituir y sumarse a los materiales tradicionales de las Bellas Artes.

6.3 CONCLUSIONES CAPÍTULO 3

- Tras la aparición de los plásticos en el arte contemporáneo, comenzaron a surgir dudas acerca de la viabilidad de su aplicabilidad, fundamentalmente en torno a su futura conservación. Este hecho, ha motivado un acercamiento entre el campo artístico y el científico-técnico con el fin de dar soluciones realistas a la conservación de las obras.
- En este proyecto, la selección final de los materiales de trabajado, obedece al interés de hacer un tipo de obras, que además de asumir plenamente nuestros presupuestos expresivos, garantice su futura conservación en el tiempo.
- En este proyecto hemos realizado una selección de artistas que trabajan con el pigmento en sí, con materiales laminados, o con lenguajes próximos a la acumulación.
- Hemos constatado que artistas como Maya Lin, Ball Nogues (Benjamin Ball y Gaston Nogues), Ji Eun Lee, David Rodriguez Caballero, Markus Linnenbrink, Eduardo Costa, Bernard Frize, Ian Davenport y Jen stark. tienen en común la ruptura de los límites de la pintura y la escultura asociada al concepto de deconstrucción
- No hay duda de que los materiales sintéticos se han convertido en los materiales por excelencia del arte moderno y contemporáneo. Entre algunas de las razones de su uso destacaremos sus novedosas cualidades respecto a los materiales tradicionales, su versatilidad, su relativo bajo coste y sobre todo un cierto interés por la renovación del proceso creativo.
- Una de las características del arte contemporáneo y de los artistas que hemos abordado, es el interés por la investigación y la utilización de nuevos materiales y nuevos procedimientos, una fusión con la que contribuyen a desdibujar los límites tradicionales propios de la pintura y de la escultura.
- En artistas como Eduardo Costa, lo pictórico del color se torna creación tridimensional, el cubriente y el soporte son la misma cosa, por lo que se establece una curiosa dualidad entre lo pictórico y lo escultórico.
- Por otra parte, artistas como Joshua Harker, Nick Ervinck, Pia Hinze, Dizingof y Aldo Bakker que trabajan apoyándose en la impresión 3D, están abriendo nuevas posibilidades para el arte digital y la creación de piezas mediante

superposición de capas estrechando los límites entre: lo digital y lo material, lo tecnológico y lo humano, lo constructivo y lo deconstructivo.

6.4. CONCLUSIONES CAPÍTULOS 4 Y 5

- Hemos producido un proyecto artístico apoyado en los fundamentos teóricos y prácticos descritos en los objetivos abordados. Dichos objetivos presentaban la materialización de piezas artísticas enfocadas en el empleo de materiales industriales como los plásticos, para desvincularlos de su funcionalidad tradicional, estableciendo un nuevo lenguaje.
- En cuanto a los resultados alcanzados en esta investigación personal sobre el PVC y el PLA como materiales picto-escultóricos, destacamos las grandes posibilidades que ofrecen a nivel cromático y de acabados. Estos materiales, al ser laminados, y maleables pueden adoptar diferentes formas y texturas, aumentando su valor estético, sin perder sus cualidades físicas.
- Respecto a las diferentes tipologías de los mismos, hemos demostrado, mediante las pruebas de contacto y fichas técnicas realizadas, su versatilidad como materiales pictóricos. Las pruebas de estos materiales en el campo artístico, han contemplado, la estampación con planchas de grabado, soportes serigráficos, acumulaciones de laminados tipo “sándwich”, termo-fundidos, baños electrolíticos, etc. Todas estas aplicaciones, nos han aportado grandes conocimientos acerca del comportamiento estético de los materiales.
- Este tipo de estudios pueden aportar datos de interés tanto para el desarrollo de los plásticos en el campo tecnológico, como para la producción de obras plásticas realizadas en el siglo XXI; ya que presentamos datos relacionados con la composición de los materiales, sus características técnicas, así como sus usos y aplicaciones o sus distribuidores y propios fabricantes.
- El identificar los tipos de plásticos y la experimentación mediante ensayo-error, nos resulta imprescindible para su posterior adecuación artística, ya que uno de los problemas que generan los polímeros en algunos casos es su estado de conservación debido a su inestabilidad. Por tanto se hace evidente el catalogar una serie de documentación física real acompañada de resultados que abalen una buena perspectiva de futuro. Además, esta catalogación resulta fundamental para definir cada una de las piezas, puesto que cada

polímero adquiere ciertas características y procesos de fabricación que lo sitúan en un contexto histórico determinado.

- Respecto al formato de las obras finales, no hay restricciones ya que por acumulación o superposición podemos ampliar y abarcar grandes espacios, y las piezas por su maleabilidad y versatilidad se adaptarían a cualquier superficie. Mediante esta coartada, la picto-escultura se hace presente en ambos resultados debido a ese carácter plural a la hora de disponer la obra en un emplazamiento artístico.
- Su sentido de obra integral se ve expresado mediante una cierta trasgresión a la frontalidad de la superficie pictórica con una superposición de material dando lugar a volúmenes acentuados. Esa superposición la vemos también en formato de capa a capa impresa en 3D, por lo que las dos vías de experimentación a nivel constructivo y deconstructivo parten de la misma premisa.
- Al ser obras en la que el color del propio PVC, está presente, cobra interés tanto el anverso como el reverso, consiguiendo así obras reversibles que pueden evadirse del apoyo sobre la pared para crear un espacio propio de varias perspectivas visuales. En el caso del PLA, parte siempre del mismo color pero tiene la posibilidad de utilizar filamentos termocromáticos y fotocromáticos que nos brindarían otra dualidad al generar cambios camaleónicos partiendo de un mismo material. Otra opción viable en cuanto a combinación de colores sería la de trabajar con varios cabezales de extrusión, permitiéndonos fusionar varios filamentos de diferentes colores en nuestra impresión.
- El hecho de que las obras adquieran cierto volumen, hace que no solo incite al espectador a tocarlas, sino que además le obliga a recorrer toda la obra, entrando en juego el sentido visual y táctil para un mayor entendimiento.
- En nuestro caso, el color no es algo secundario, adquiere total importancia ya que la superposición de planchas o chaquiras de gran amplitud cromática, hace posible la vibración de múltiples líneas de color que se agrupan o separan unas de otras, jugando con los espacios y el vacío. Aquí también tiene su papel la iluminación, dado que las luces y las sombras multiplican las ilusiones ópticas, por lo que la percepción de la obra adquiere una mayor pluralidad perceptiva.

- La postproducción tiene gran importancia en nuestro trabajo, de tal manera que la intervención de los plásticos, con esmaltes, aerógrafos, pegamentos, tintes, solventes y procesos químicos; garantizan nuestro interés por singularizar los acabados de unas piezas que asumimos como únicas e irrepetibles.
- Todo lo expuesto en la presente tesis, posiciona al PVC de calandra y espumado, y al PLA, como materiales de múltiples usos, destacando sus infinitas utilidades artísticas presentes y futuras, que tienen en paralelo con el desarrollo tecnológico industrial.
- Consideramos que el empleo de las nuevas herramientas que sigan apareciendo, junto con la utilización de una metodología adecuada basada en el ensayo plástico, facilitará el estudio de otros materiales y procesos de producción aplicables a la realización de piezas artísticas.
- Por lo tanto, es importante resaltar que con este trabajo no se finaliza el tema desarrollado y tanto las reflexiones teóricas como las experiencias prácticas, dejan el campo abierto a muchas líneas de investigación y experimentación futuras.

6.5 VALORACIÓN FINAL

El estudio realizado tanto históricamente como tecnológicamente acerca de materiales industriales como el PVC y el PLA, nos ha permitido conocer ampliamente los usos y aplicaciones de cada uno de estos plásticos en una gran multiplicidad de sectores, permitiéndonos desarrollar sub-apartados enmarcándolos por su funcionalidad, por su empleo mediante diferentes tipos de máquinas, por su textura, cromatismo o propiedades físicas, etc. En este aspecto, la amplia documentación abordada en esta tesis, además de contribuir en el desarrollo de piezas artísticas y su difusión mediante exposiciones y participación en certámenes, pretende ser una aportación para otros campos como el conocimiento tecnológico del funcionamiento de procesos con máquinas CNC e impresoras 3D, así como el del uso de softwares de modelaje e edición en 3D o la propia composición de los materiales como alternativas de sus usos preconcebidos.

Por otro lado, los resultados obtenidos a nivel plástico han sido satisfactorios, ya que al realizar una serie de fichas técnicas, recopilando el comportamiento de estos materiales, los márgenes de error se redujeron. Pero aun así, nos encontramos con ciertos “peros” como:

- La búsqueda de fuentes de información o de una metodología específica ha estado apoyada fundamentalmente en recursos electrónicos accesibles vía on-line debido a la novedad de los temas tratados y a la escasez de fuentes bibliográficas en el ámbito de nuestro tema de estudio. Esa laguna, la hemos compensado con la elaboración de un catálogo de pruebas, que mediante fichas técnicas recopila la información relevante de los ensayos plásticos realizados, contribuyendo así a generar discurso y material utilizable para quienes en el futuro decidan abrir una investigación en esta dirección.
- Los procesos de trabajo asociados a cada una de las piezas realizadas en esta investigación, están catalogados atendiendo a una serie de parámetros. Los datos de dicha catalogación, incluyen el color, el material, el modelo 3D inicial, los materiales cubrientes, el tipo de acabado, la terminación aplicada para su conservación, los posibles sistemas de enmarcación, etc.
- Hemos detectado un aprovechamiento limitado del formato original del PVC de calandra. Al inicio de este proyecto, estudiamos la posibilidad de que mediante cortes con tangencias similares, pudiéramos optar por una parte positiva y otra

negativa, que al acumularlas y juntarlas, permitieran doblar el volumen total de las obras; pero esa posibilidad se esfumó, ya que nos obligaba a recortar mediante una máquina de control numérico cada una de las 400 planchas laminadas. Finalmente y debido al alto coste de ejecución de tal número de planchas, decidimos optar por fresar el bloque macizo en su conjunto.

- La porosidad del PVC espumado supuso un problema en la terminación de las obras dado que absorbía mucha suciedad, y al emplear colores como el blanco, ese problema se agravaba. Al igual que otros materiales orgánicos, el PVC espumado sufre ciertos deterioros siendo en muchos casos irreversibles, por lo que estudiamos la posibilidad de aplicarle un cubriente el cual no amarilleara y a su vez lo protegiera e impermeabilizara. Gracias el empleo del barniz de poliuretano acrílico OMARCRIL M5, pudimos solventar ese problema tras enmascarar la pieza una vez fresada aplicando sucesivas capas con intervalos de cinco minutos entre cada una de ellas, dado que el barniz se absorbía por el PVC pero quedaba lo suficientemente mordiente para aplicarle las siguientes capas y que se adhiriera con facilidad. El aspecto final de la pieza se mantiene intacto, pero ahora con la ventaja de aportar mayor intensidad a los colores garantizando a su vez la protección a los Rayos Ultravioleta.
- Por último cabe mencionar la adaptación que hemos tenido que llevar a cabo de las artes tradicionales en colaboración con los nuevos procesos de mecanizado 3D. Como hemos expuesto en nuestro trabajo, el arte huichol mexicano emplea una variedad de cera, concretamente la Campeche, como adhesivo para el recubrimiento con chaquiras. El problema es que la cera Campeche, se derrite a altas temperaturas por lo que tratamos de mezclar la cera tradicional, con diferentes adhesivos para potenciar la solidez de la mezcla.

6.6 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras las conclusiones derivadas de esta investigación, se abren a su vez nuevos campos de trabajo mediante el empleo de diferentes tipos de plásticos como también nuevas metodologías de producción de piezas asociadas a los procesos constructivos mediante impresión 3D y a los procesos deconstructivos con fresadoras. Resulta lógico este planteamiento debido a que las nuevas tecnologías están en pleno desarrollo, y no solo a nivel artístico, sino que abarcan todo un conglomerado de campos aun por explorar.

Además, puesto que la tesis se enfoca en su parte final a la realización de obras artísticas como a los diferentes tipos de terminación y acabados que se le pueden dar al post-proceso de la parte maquinada, se hace evidente ampliar esta información para abordar nuevas utilidades con estos materiales y a su vez nuevos conceptos y lenguajes en el campo del arte.

En relación a los aspectos formales y conceptuales que definen nuestra práctica artística, en los últimos años hemos venido desarrollando una serie de propuestas visuales donde poníamos de relieve la importancia de lo imaginario en la construcción y deconstrucción de la realidad, así como la incorporación de elementos de tradiciones y cultura de carácter indígena y popular como el arte mexicano o brasileño. De cara al futuro nos gustaría seguir abordando esas cuestiones que ponen en contraste la tradición y la modernidad, siendo la ciudad un tema que nos atrae enormemente para el desarrollo de nuevos proyectos expositivos.

CONCLUSÕES E AVALIAÇÃO FINAL

A parte mais relevante desta pesquisa é transcrever os resultados encontrados provenientes do longo processo executado neste trabalho. Desta forma, como um lembrete, voltamos o nosso olhar para os objetivos que nos propusemos e demonstrar o quão longe fomos para alcançá-los. Assim, o principal objetivo desta tese é a busca da realização de um projeto artístico, que em resumo, reunisse adequadamente as questões expostas; contextualizadas e reforçadas por uma pesquisa teórica e prática relacionado a novos materiais na arte contemporânea, e os processos industriais de fresagem e de impressão 3D.

Os conteúdos da presente tese destacam o desenvolvimento de obras plásticas com materiais de origem industrial, tais como PVC (de calandra e espuma) e o PLA, tendo como premissa a sua relação com o avanço tecnológico experimentado por máquinas de controle numérico computadorizado (CNC), e impressoras 3D, nos permitiu construir um universo artístico com sua própria identidade. Nesse sentido, podemos dizer que o objetivo principal que tínhamos proposto foi plenamente satisfeito.

Para conseguir essa realização pessoal, foi necessário uma abordagem metodológica onde agregamos questões de naturezas diferentes e que, logicamente, foram perfilando a estrutura da mesma em cinco partes distintas. Nos **capítulos 1 e 2** da pesquisa, nos aprofundamos no estudo de materiais industriais e processos de produção, que em sua maioria vieram de setores fora da criação artística, mas em nossa visão, perfeitamente poderia ser adaptada aos conceitos relacionados com a construção e desconstrução, estes últimos princípios presentes em grande parte da arte contemporânea.

Em tempos de internet e globalização, seria ingênuo para nós considerar que os desenvolvimentos estéticos surgem do nada. Por essa razão, foi necessário dedicar o **capítulo 3** de nossa pesquisa para analisar influências e referências artísticas potencialmente válidas para o este projeto.

A enorme quantidade de testes de plástico necessárias para garantir o êxito do nosso projeto aparecem com destaque os **capítulos 4 e 5** desta tese. Nestes capítulos detalhamos os processos de teste de vários materiais plásticos, máquinas de CNC e impressão em 3D. Nesses testes se estabeleceram diretrizes nas quais nos permitiram ir descartando processos e materiais que podem ser adaptados a

outros projetos. Acreditamos que este *corpus* argumenta a nossa seleção de materiais finais e processos de fabricação através de especificações técnicas de estudos, sendo do nosso ponto de vista, a grande contribuição desta tese. Os resultados aqui alcançados, devem ser avaliados de forma muito positiva, porque finalmente o conjunto de experimentações atuais nos permitiu desenvolver um método de trabalho pessoal e totalmente inscrito no âmbito das artes, enquanto os dados fornecidos irão facilitar o progresso em um linha de trabalho que, até o momento, consideramos que não havia sido abordada.

Finalmente, em relação aos objetivos desenvolvidos, temos previsão de uma exposição no *hall* da Faculdade de Belas Artes, programada de 15 de setembro a 15 de outubro de 2017, em que será possível dar visibilidade física ao trabalho artístico, expondo, além das próprias obras, os conhecimentos expositivos ligado a elas.

6.1. VERIFICAÇÃO DA HIPÓTESE

No início desta investigação levantamos uma série de questões que, como um todo, estabeleceu as chaves fundamentais para formular a hipótese de trabalho que agora pretendemos confirmar. Neste sentido, nos perguntávamos quais os métodos de produção artística associada ao uso de material de plástico, poderiam ser viável expressivamente. A partir daí, foi conduzida uma série de estudos e testes para entrar em contato com materiais e processos utilizando o método de análise-síntese. Essas primeiras considerações nos levaram novamente a contemplar duas premissas:

Primeira premissa: o potencial para a picto- escultura tem a fresagem e o uso de máquina de controle numérico computadorizada.

Segunda premissa: a viabilidade para que a picto-escultura tenha a modelagem e a impressão 3D.

Agora, com os dados de nossa pesquisa, estamos capacitados a afirmar que tanto as máquinas computadorizadas de controle numérico como a impressão 3D são ferramentas válidas para criação artística e têm grande potencial para tipologias como a picto-escultura.

A união do tecnológico com o artesanal, ou a artificialidade pela repetição com a imaginação, faz com que o uso de impressoras 3D não caiam em um modelo produzido em série, mas os objetos impressos poderão aumentar suas possibilidades como obras singulares e individualizadas.

O nascimento de novas técnicas picto-esculturas, estão relacionadas com as nossas necessidades de inovação contínuas. A importância da tecnologia e materiais neste processo é um fato fundamental na arte contemporânea, mas também um reflexo das inquietudes e estilos próprios de nossa sociedade.

Podemos dizer que alcançamos os objetivos propostos desta pesquisa, apesar de estar ciente do evidente grau de subjetividade envolvido na prática artística a que pertence. A este respeito, e como um resumo, dada a complexidade do processo de pesquisa realizado, passamos a enunciar separadamente as conclusões de cada uma das partes que compõem esta tese:

6.2 CONCLUSÕES CAPÍTULOS 1 E 2

- Plástico tornou-se um dos materiais mais recorrentes nas artes do século XXI destacando-se pela sua grande versatilidade, maleabilidade e baixo custo.
- Vimos que o desenvolvimento de plásticos tipo PVC e PLA, nos últimos quarenta anos tem sido extraordinário, manifestando-se em muitas aplicações, tais como automotivo, construção, brinquedos, bens domésticos, tecnologia da informação, mesmo em campos como o da medicina.
- Aprofundamos conhecimento dos diferentes tipos de PVC e PLA, e um pouco mais em PVC calandrado e espuma, a sua definição, origem, características técnicas, propriedades gerais e alguns de seus usos e aplicações têm sido importância vital para a nossa experimentação artística.
- Não há dúvida de que as propriedades físicas e estéticas que possuem os materiais sintéticos, os levam a cada dia, a ser empregados na prática artística; contribuindo assim para a riqueza expressiva de obras mediante a incorporação histórica desses novos materiais.
- Geralmente, o uso de plástico nas artes, que está mais associado com a produção de partes volumétricas, devido à sua composição e consistência, embora derivados como o PVC calandrado, o espumado e o PLA, ou agora a caneta 3D, podem quebrar essa tendência encaixando em obras de caráter bidimensional.
- Este novidade do material está associada com os novos processos mecânicos desenvolvidos pela indústria dos plásticos. Depois da Segunda Guerra Mundial, os processos tais como calandragem, extrusão, compressão ou

termo-moldagem, proporcionaram ao plástico uma ampla variedade de formas, texturas, cores e tamanhos. Características que nas quais nós apoiamos para a realização deste projeto.

- Os novos procedimentos tecnológicos para o uso de plásticos foram impulsionando o uso de novas máquinas que buscam melhorar, simplificar e substituir o trabalho manual. Entre eles estão máquinas CNC proeminentes e 3D impressoras vez.
- No começo estes sistemas CNC usinagem e impressão 3D estavam disponíveis apenas para grandes empresas, hoje com a tecnologia mais barata, podemos dizer que é acessível a estudantes e profissionais da ferramenta e de artes plásticas. Nesse sentido, o FABtotum Personal Fabricator, nos tem permitido fresagem, digitalização 3D e impressão simplesmente mudando a cabeça e a plataforma de trabalho.
- A ampla disponibilidade de plásticos sintéticos e semi-sintéticos que estão no mercado industrial obedecer às suas propriedades e aplicações capazes de substituir completamente outros materiais. Da mesma forma que temos confirmado a utilização de processos plásticos associados com o uso de usinagem CNC e máquinas de impressão 3D também pode substituir e adicionar aos materiais tradicionais das Belas Artes.

6.3 CONCLUSÕES CAPÍTULO 3

- Após o aparecimento de plásticos da arte contemporânea, começaram a levantar dúvidas sobre a viabilidade de sua aplicabilidade, principalmente sobre sua futura conservação. Este fato levou a uma aproximação entre o campo artístico e científico a fim de dar soluções realistas a conservação das obras.
- Neste projeto, a seleção final dos materiais trabalhados, obedece ao interesse de fazer um tipo de obra, que além de assumir plenamente nossos orçamentos, assim garantindo a sua preservação futura ao longo do tempo.
- Neste projeto nós fizemos uma seleção de artistas que trabalham com o pigmento em si, com materiais laminados, ou com lado linguagem próximo a acumulação

- Descobrimos que artistas como Maya Lin, Bola de Nogues (Benjamin Ball and Gaston Nogues), Ji Eun Lee, David Rodriguez Caballero, Markus Linnenbrink, Eduardo Costa, Bernard Frize, Ian Davenport e Jen stark. Eles têm em comum a ruptura dos limites da pintura e escultura associados com o conceito de desconstrução.
- Não há dúvida de que os materiais sintéticos se tornaram nos materiais de excelência da arte moderna e contemporânea. Algumas das razões para o seu uso destacaremos suas qualidades inovadoras, em comparação aos materiais tradicionais, a sua versatilidade, seu custo relativamente baixo e, especialmente, algum interesse na renovação do processo criativo.
- Uma das características da arte contemporânea e dos artistas que abordamos, é o interesse pela pesquisa e o uso de novos materiais e novos procedimentos, uma fusão com a que contribuem para desfocar os próprios limites tradicionais de pintura e escultura.
- Artistas como Eduardo Costa, o pictórica da cor se torna criação tridimensional e, a cobertura e o suporte são a mesma coisa, então se estabelece uma dualidade curiosa entre o pictórico e o conjunto escultórico.
- Por outro lado, artistas como Joshua Harker, Nick Ervinck, Pia Hinze, Dizingof e Aldo Bakker que trabalhão apoiando-se na impressão 3D, estão abrindo novas possibilidades para a arte digital e criação de peças mediante superposição de camadas estreitando as fronteiras entre: digital e material, tecnológico e humano, o construtivo eo deconstructivo.

6.4 CONCLUSÕES CAPÍTULOS 4 E 5

- Temos produzido um projeto de arte apoiada pelas fundações teóricas e práticas descritas nos objetivos visados. Estes objectivos tiveram a materialização de peças artísticas com foco no uso de materiais industriais, como plásticos, dissociar-los de sua funcionalidade tradicional, estabelecendo uma nova linguagem.
- Em relação aos resultados alcançados nesta pesquisa pessoal sobre PVC e PLA como materiais picto-escultural, destacamos as grandes possibilidades que oferecem a nível de cor e acabamentos. Estes materiais, ao serem

laminados e maleáveis pode assumir diferentes formas e texturas, aumentando seu valor estético sem perder suas características físicas.

- Em relação as diferentes tipologias dos mesmos, temos demonstrado através de testes e especificações técnicas, sua versatilidade como materiais pictóricos. O ensaio destes materiais no campo da arte têm contemplado, a impressão com placas de gravação, os suportes de impressão serigráfica, as acumulações de laminados "sanduíche" termo- fundidos, banhos electrolíticos, etc. Todas estas aplicações nos deram grande conhecimento sobre o comportamento estético dos materiais.
- Esses estudos podem fornecer informações úteis tanto para o desenvolvimento de plásticos em tecnologia e para a produção de obras de plástico no século XXI; e apresentamos dados relacionados com a composição dos materiais, características técnicas e usos e aplicações ou de seus próprios distribuidores e fabricantes.
- Identificar os tipos de plásticos e experimentação por tentativa e erro, é fundamental para posterior adequação artística, já que um dos problemas que geram polímeros, em alguns casos, seu estado de conservação devido à sua instabilidade. Por isso, torna-se evidente o catálogo de uma série de documentação física real acompanhada por resultados abalem boas perspectivas futuras. Além disso, esta catalogação é essencial para definir cada uma das partes, uma vez que cada polímero adquire certas características e processos de fabricação que o colocam em um contexto histórico particular.
- Em relação ao formato dos trabalhos finais, não há restrições quanto acumulação ou superposição podemos expandir e cobrir grandes áreas, e peças para sua maleabilidade e versatilidade se adaptaria a qualquer superfície. Com este álibi, o picto-escultura está presente em ambos os resultados, devido ao caráter plural ao organizar a obra em um ambiente artístico.
- Seu senso de obras completas é expressa por uma certa transgressão da frontalidade da superfície pictórica com um material de revestimento resultando em volumes acentuados. Esta sobreposição vemos também em formato de capa a capa impressa em 3D, de modo que o nível de

experimentação construtiva e desconstrutiva de duas vias são baseados na mesma premissa.

- Ao ser obras em que a cor do próprio PVC está presente, cobra interesse tanto ao avesso quanto ao reverso, obras assim reversíveis que podem escapar do suporte na parede para criar o seu próprio espaço de várias perspectivas visuais. No caso do PLA, sempre da mesma cor, mas tem a capacidade de usar filamentos termocrômicas e fotocromáticas que nos brindam outra dualidade para gerar mudanças camaleônicos com base no mesmo material. Outra opção viável em termos de esquema de cores seria trabalhar com várias cabeças de extrusão, o que nos permite mesclar vários fios de cores diferentes em nossa impressão.
- O fato de que as obras adquirir determinado volume, faz que não só incite o espectador a tocá-las, mas também exige que ele viajar todo o trabalho que entram no jogo do sentido visual e tátil para uma maior compreensão.
- No nosso caso, a cor não é algo secundário, adquire um significado completo uma vez que as placas sobrepostas ou missangas grande amplitude cromática torna possível uma vibração em várias linhas multicoloridos agrupados ou separados uns dos outros, jogando com espaços e vácuo. Aqui a iluminação também tem seu papel, já que as luzes e sombras multiplicar ilusões de óptica, de modo a percepção do trabalho torna-se pluralidade mais perceptivo.
- A pós-produção é muito importante no nosso trabalho, de modo que a intervenção de plásticos, esmaltes, airbrushes, adesivos, tintas, solventes e processos químicos; garantem o nosso interesse em destacar as peças acabadas que assumem como único e irrepetível.
- Todos os expostos nesta tese, posiciona o PVC de calandra e espuma, e ao PLA, como materiais multifuncionais, destacando suas infinitas utilidades artística presentes e futuras, que tem em paralelo com o desenvolvimento tecnológico industrial.
- Acreditamos que o uso de novas ferramentas ainda seguem aparecendo, juntamente com o uso de uma metodologia adequada com base no teste de plástico irá facilitar o estudo de outros materiais e processos de produção aplicáveis à realização de peças artísticas.

- Por isso, é importante notar que com este trabalho não se finalizam o tema desenvolvido, as considerações teóricas e experiências práticas, deixar em aberto muitas linhas de investigação futura e campos de experimentação.

6.5 AVALIAÇÃO FINAL

O estudo realizado tanto historicamente como tecnologicamente em materiais industriais, tais como PVC e PLA, nos levou a conhecer os usos e aplicações de cada um desses plásticos em uma multiplicidade de setores, o que nos permite desenvolver subdivisões enquadrando-os para a sua funcionalidade, para a sua utilização por diferentes tipos de máquinas, textura, cromatismo ou propriedades físicas, etc. A este respeito, a extensa documentação abordada nesta tese, além de contribuir para o desenvolvimento de peças artísticas e sua disseminação através de exposições e participação em competições, destinado a contribuir para outros campos, como o conhecimento tecnológico do funcionamento de processos com máquinas CNC e impressoras 3D, bem como o uso de modelagem de software e edição 3D ou composição própria de materiais como alternativas para os seus usos preconcebidas.

Por outro lado, os resultados obtidos a nível plástico tem sido satisfatório, uma vez que a execução de uma série de especificações técnicas, agrupando o comportamento destes materiais, reduziram a margem de erro. Porém, ainda assim, encontramos alguns "mas" como:

- A busca de fontes de informação e de uma metodologia específica tem sido apoiada principalmente em recursos eletrônicos acessíveis via on-line por se tratar de assunto novo e da escassez de fontes bibliográfica. Esta lacuna foi compensada com a preparação de um catálogo de testes, mediante dados técnicos se reúnem as informações relevantes a partir dos ensaios plásticos realizados, ajudando a gerar discurso e material utilizável para aqueles que no futuro decidir realizar uma investigação neste sentido.
- Os processos de trabalho associados a cada uma das peças são classificados de acordo com uma série de parâmetros. Os dados catalogados incluem: cor, material, modelo 3D inicial, materiais de revestimento, tipo de acabamento, acabamento aplicado para conservação, possíveis sistemas de molduras, etc.
- Foi detectado um aproveitamento limitado do formato original de PVC de calandra. No início deste projeto, nós estudamos a possibilidade de a través de cortes tangentes semelhantes, poderíamos optar por uma parte positiva e uma negativa, que ao sobrepor e colar, permitem dobrar o volume total das obras; mas essa possibilidade desapareceu, uma vez que fomos forçados a cortar através de uma máquina de controle numérico cada uma das 400

laminas. Por último, devido ao alto custo de implementação das inúmeras laminas, decidimos optar por fresagem do bloco sólido como um todo.

- A porosidade do PVC espumado foi um problema na finalização das obras, uma vez que absorvia uma grande quantidade de sujeira, utilizar cores como branco, agravava o problema. Como outras matérias orgânicas, a espuma de PVC sofre certa deterioração e, em muitos casos irreversíveis, por isso, estudamos a possibilidade de aplicar uma cobertura que não vai amarelar com o tempo, por sua vez proteger e impermeabilizar. Graças ao emprego de verniz de poliuretano acrílico OMARCRIL M5, resolvemos esse problema após recobrir com verniz a peça já fresada, aplicando camadas sucessivas com intervalos de cinco minutos entre cada uma, uma vez que o verniz é absorvido pelo PVC, e fica suficientemente colante para aplicar as seguintes camadas e aderem facilmente. O aspecto final da peça permanece intacta, mas agora com a vantagem de proporcionar uma maior intensidade de cores ao mesmo tempo assegurar a proteção dos raios UV.
- Por último cabe mencionar a adaptação que fizemos levando a cabo as artes tradicionais em colaboração com novos processos de usinagem 3D. Tal como discutido no nosso trabalho, a arte huichol mexicano emprega um tipo de cera, chamada Campeche, como um adesivo para recobrir missangas. O problema é que a cera Campeche, funde a temperaturas elevadas de modo que tentamos misturar a cera tradicional, com diferentes adesivos para melhorar a força da mistura.

6.6 NOVAS LINHAS DE PESQUISA

Através das conclusões desta pesquisa, se abrem novos campos de trabalho através do emprego de diferentes tipos de plásticos, bem como novos métodos de produção de peças associadas aos processos de construção que utilizam processos de impressão e de fresamento 3D desconstrutiva. Esta abordagem é lógica, porque as novas tecnologias estão em desenvolvimento, não apenas em um nível artístico, mas que englobam todo um conglomerado de campos ainda a serem explorados.

Além disso, a tese tem o foco final direcionado para a realização de trabalhos artísticos e os diferentes tipos de finalizações e acabamentos que podem ser dados para pós-processamento da peça usinada, é necessário ampliar as informações para abordar novas utilidades com estes materiais e criar novos conceitos e linguagens no campo da arte.

Em relação aos aspectos formais e conceituais que definem a nossa prática artística, nos últimos anos, temos vindo desenvolver uma série de propostas visuais que ressaltamos a importância da imaginação na construção e desconstrução da realidade e elementos que incorporam tradições e cultura de caráter indígena e popular como a arte mexicana ou brasileira. Olhando para o futuro, gostaríamos de continuar a abordar estas questões que evidenciam o contraste entre tradição e modernidade, sendo a cidade um assunto que nos atrai intensamente para o desenvolvimento de novos projetos de exposições.

Referencias

3D Printing Industry. (2015). *The free beginners guide.* London. Recuperado de http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/

Abstractioninaction. *Eduardo Costa, Argentina 1940* [Figura] Recuperada de http://abstractioninaction.com/projects/

Albers, Josef. (2003). *La interacción del color*. Madrid: Alianza Editorial.

Albertson, Cindy. (2009). Claes Oldenburg: Conservation of Floor Cake (Week 2). *Moma.org.* Recuperado de https://www.moma.org/explore/inside_out/2009/11/09/claes-oldenburg-conservation-of-floor-cake-week-2/

Alegre Carvajal, E., Perla de las Parras, A. y López Díaz, J. (2016). *La materia del arte. Técnicas y estudios.* Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces.

Alfaro Siqueros, David. (1952). Un problema técnico sin precedente en la historia del Arte: El muralismo figurativo y realista en el exterior. En ICAA (Ed.), *Arte Público: Tribuna de pintores muralistas, Escultores, Grabadores y Artistas de la Estampa en general (México, D. F., México),* (1), 1-6.

Amich Badosa, Constancio. (1957). *Manual del dorado sobre madera*. Barcelona: Editorial Sintes.

ANIQ. Asociación Nacional de la Industria de la Química, A.C. (2015). *¿Qué es el PVC? Procesos y aplicaciones.* Recuperado de http://www.aniq.org.mx/premioPVC/assets/docs/M%C3%A1s%20sobre%20el%20PVC2015.

Annisha Lashand, (2016). Jen Stark's Colors of Consciousness*. Electrify* Magazine LLC. Recuperado de http://electrifymag.com/trendsetters/artists/jen-starks-colors-consciousness/

Arbace, Lucia *et al.* (2012). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage,14* (4), 332-345.

Arcam, AB. *Arcam History.* Recuperado de http://www.arcam.com/company/about-arcam/history/

Arquitexs. *Arquitectura Contemporánea, Posmoderna y Deconstructivismo* [Figura]. Recuperada de http://www.arquitexs.com/conceptos-arquitectura-posmoderna/

Asociación chilena de diseño. (2010). *El auge de la impresión 3D.* [Figura]. Recuperada de http://www.chilediseno.org/el-auge-de-la-impresion-3d

Asoven PVC. (2012). ¿Qué es el PVC? *Asociación Ventanas PVC.* Recuperado de http://www.asoven.com/pvc-asoven.php

Ball Nogues Studio [Figura]. Recuperada de http://www.ball-nogues.com/bios

Barthes, R. (1994). *El susurro del lenguaje. Más allá de la palabra y de la escritura*. Barcelona: Ediciones Paidós.

Boullona, Nicolás. (2016). La impresión 3D madura: ¿hora de personalizar bajo demanda? *FairCompanies.* [Figura]. Recuperada de http://normasapa.com/insercion-de-tablas-y-figuras/

Briscella, Lana Blum and Briscella, John. (2015). *Inkimals*. [Figura] Recuperada de https://www.aminimalstudio.com/projects/#/inkimals/

ByAMT. *3d printed jointed jewels*. [Figura]. Recuperada de http://byamt.com/work/3d-printed-jointed-jewels/

Canessa, E., Fonda, C. and Zennaro,M. (Eds). (2013). *Low-Cost 3D Printing: for science, education sustainable development*. Italia: Centro Internacional Abdus Salam de Física Teórica (CIFT).

CDMX. Ciudad de México. *La marcha de la humanidad en la Tierra y hacia el Cosmos, de David A. Siqueiros*. [Figura]. Recuperada de http://cdmxtravel.com/es/lugares/la-marcha-de-la-humanidad-en-la-tierra-y-hacia-el-cosmos-de-david-a-siqueiros.html

Cerrillo, Antonio. (28 de octubre de 2011). El área de Barcelona saca 'petróleo' de la basura. *La Vanguardia*. [Figura] Recuperada de http://www.lavanguardia.com/medio-ambiente/20111028/54237261938/el-area-de-barcelona-saca-petroleo-de-la-basura.html

CNCCookBook. *What Is CNC and CNC Machines?* [Figura] Recuperada de http://www.cnccookbook.com/CCCNCMachine.htm

Cook, Carlos. *Nuevos materiales para construcciones modernas*. Recuperado de http://www.cymisa.com.mx/PDF_files/articuloseditorialesCCM/MAYO09.pdf

Creaform 3D. (2015). *Escáneres 3d portátiles: Handyscan 3D*. [Figura]. Recuperada de https://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/escaneres-3d-portatiles-handyscan-3d

Curiator. (2017). *Agrieborz by Nick Ervinck*. [Figura] Recuperada de http://curiator.com/art/nick-ervinck/agrieborz

D3 Technologies. *ZCorp 3D Printers. The Fastest, Most Affordable, Color 3D Printing.* [Figura]. Recuperada de http://www.d3pact.com/zcorp.php

Danobat Group. *Axle Turning Lathe*. [Figura] Recuperada de http://railways.danobatgroup.com/en/horizontal-lathe

Demaquinasyherramientas. (2015). *Introducción a la tecnología CNC* [Tabla] Recuperada de http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc

Derrida, Jacques. (2010). *La verdad en pintura*. Buenos Aires: Paidós.

Designaholic. MX. (2013*). Sillas clásicas impresas en 3D por Kevin Spencer.* [Figura]. Recuperada de http://designaholic.mx/2013/08/sillas-clasicas-impresas-en-3d-por-kevin-spencer.html

Dougherty, Dale. (2013) A new wave of affordable machines is democratizing 3D printing. *Make: 3D Printer Buyer's Guide*, 23, 6-8.

Ela é tech! (2014). *Chef jet pro: a impressora 3d de doces*. [Figura]. Recuperada de https://elaetech.wordpress.com/2014/03/20/chef-jet-pro-a-impressora-3d-de-doces/

Ensamble Studio. (2010). The Truffle. Costa da Morte. Recuperado de https://www.ensamble.info/thetruffle

Es Brillante.mx. (2014). *¡La pluma 3D ya existe!* [Figura] Recuperada de https://esbrillante.mx/blog/la-pluma-3d-ya-existe/

Etherington, Rose. (2009). *The Foetus Project by Jorge Lopes Dos Santos. Dezeen.* [Figura]. Recuperada de https://www.dezeen.com/2009/07/16/the-fetus-project-by-jorge-lopes-dos-santos/

Filament2Print. (2016). *PLA SOFT-Flexible*. Recuperado de http://filament2print.com/es/pla-especial/660-pla-soft-flexible.html

Filament4Print. (2013) *PLA Thermochrome Filaments* [Figura]. Recuperada de https://www.filaments4print.com/english-1/pla-thermochrome

Francki, V.E. (1991). *El hombre en busca de sentido*. Barcelona: Editorial Herder.

Fundación UNAM. (2015). Arte en Ciudad Universitaria: David Alfaro Siqueiros. Recuperado de http://www.fundacionunam.org.mx/arte-y-cultura/arte-en-ciudad-universitaria-david-alfaro-siqueiros/

García, A. (2011). Consideraciones en torno a la utilización de plásticos y resinas sintéticas en la pintura. En B. Morgado (Ed), *Entorno al arte IV. Investigación y Docencia en Bellas Artes. (*pp.147-190). Musivisual.

González, Mónica. (2010). *Fosforescencia. La Guía* [Figura]. Recuperada de http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/fosforescencia

Grabados y Litografías. (2016). *Proyecto Tindaya - Eduardo Chillida*. Recuperado de http://www.grabadosylitografias.com/eduardo-chillida-montana-tindaya-escultura-fuerteventura.html

Grunewald, Scoot J. (2015). *Mcor is Bringing Full High Definition Color to 3D Printing with Mcor IRIS HD. 3D Print* [Figura]. Recuperada de https://3dprint.com/66759/mcor-iris-hd/

Grupo Pochteca. (2015). *Thinner o adelgazador*. Recuperado de http://www.pochteca.com.mx/lo-que-hay-que-saber-acerca-del-thinner-o-adelgazador/

Gutiérrez del Ángel, Arturo. (2011). Los hacedores de las lluvias. Peregrinaciones y ceremonias de los jicareros wixaritari. *Revista de El Colegio de San Luis,* (1), 92-117.

Hess, Alina A. (2004). *El PVC en la construcción*. Recuperado de http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/7-Tecnologia/T-017.pdf

Impresoras 3D. (2014). *3d systems apuesta fuertemente por la impresión 3d en la repostería.* Recuperado de https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102857095-3d-systems-apuesta-fuertemente-por-la-impresion-3d-en-la-reposteria

Impresoras 3D. (2014). *Open SLS, una impresora 3D de código abierto de sinterización selectiva por láser (SLS).* Recuperado de https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102871175-open-sls-una-impresora-3d-de-codigo-abierto-de-sinterizacion-selectiva-por-laser-sls

Infante Martín, Rafael. (2012). *Procesos de conformado de materiales poliméricos por prototipado rápido* (trabajo fin de máster). Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Innovando.biz. (2015). *Estudio diseño industrial español utiliza impresoras 3D para hacer prototipo* [Figura]. Recuperada de http://www.consultor-it.com/articulo/69832/impresoras-3d/todos/estudio-diseno-industrial-espanol-%20utiliza-impresoras-3d-para-hacer-prototipos

J. Gillespie, Ronald y Beltrán, Aurelio. (1990). *Química* (Vol.2). Barcelona: Ed. Reverté.

Kalpakjian, S. y Schmid, S. R. (2015). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (5 ed.). Pearson.

Kandinsky, Vasili. (2003). *Punto y línea sobre el plano*. Buenos Aires: Paidós.

Krassenstein, E. (2014). OpenSLS - An Open Source Project Creates a Sub-$15K Selective Laser Sintering 3D Printer. [Figura]. *3D Print.* Recuperado de https://3dprint.com/5104/opensls-sls-3d-printer/

Krieger, Peter. (2006). *Paisajes Urbanos. Imagen y memoria*. México: UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas.

Krieger, Peter. (2004). La deconstrucción de Jacques Derrida (1930-2004). *Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas*, *XXVI* (84), 179-188.

Krieger, Peter. (2003). Dolor fantasma: una arqueología virtual del World Trade Center. *Revista de la Universidad de México,* (627), 78-82.

Larrondo, Romina. (2015). La empresa japonesa Bonsai Lab quiere revolucionar la industria del juguete. *Tecnología de impresión 3D.* Recuperado de http://impresora3dprinter.com/la-empresa-japonesa-bonsai-lab-quiere-revolucionar-la-industria-del-juguete/2015/02/06/

Lin, M. (2000). *Boundaries.* New York: Simon & Schuster.

Lira-Cortés, L., González Rodríguez, O. J., Méndez-Lango, E. (2008). Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. En *Simposio de Metrología.* Simposio llevado a cabo en Centro Nacional de Metrología, México.

Loera, Yarvick. (2015). *Diseño y Fabricación Digital* [Figura]. Recuperada de https://rhino4all.wordpress.com/author/yarvix/

López, David (2015). *La Impresión 3D. Aplicaciones industrializadas en proyectos arquitectónicos.* Recuperado de http://abcmodular.com/impresion-3d

Macklin, S.R., Varley, P., Varona, P., & Merino, C. (2012). The investigation and design for a unique architectural space. The Chillida Cavern, Mount Tindaya, Fuerteventura. *Tunnelling and Underground Space Technology, 31,* 9-19.

Madrilejos, Sol., y Sancho Osinaga, Juan C. (1993). La paradoja del vacío. Circo. (6), 2-8.

Maffesoli, M., (2005). La tajada del diablo: compendio de subversión postmoderna. México: siglo xxi editores.

MakieLab's ToyMaker. (2016). *Makies are moving to America.* [Figura]. Recuperada de https://mymakie.com/blog/

Manuel de Prada. (2002). Componer con vacío. Notas sobre la configuración del vacío en el arte y la arquitectura. *Cuaderno de Notas*, (9), 57-84.

Marlborough. David Rodriguez Caballero [Figura]. Recuperada de http://www.galeriamarlborough.com

McGahan, David. (2012). *3D printed exoskeletal support. Ponoko.* [Figura]. Recuperado de https://www.ponoko.com/blog/ponoko/3d-printed-exoskeletal-support/

Moholy-Nagy, Lazlo. (1997). *La nueva visión: Reseña de un artista*. Buenos Aires: Infinito.

Mongeon, Bridgette. (2015). *3D Technology in Fine Art and Craft: Exploring 3D Printing, Scanning, Sculpting and Milling Paperback* Londres: Focal Press.

Morales Fabero, José. (2012). *El autoritarismo en la modernidad.* Madrid: UNED.

Mundo del Museo. *La marcha de la humanidad David Alfaro Siqueiros (1966) México*. Recuperado de http://mundodelmuseo.com/ficha.php?id=1017

Nahmias, Asher. (2 de abril de 2014). Slicing the Tetra Horse. [Mensaje en un blog]. Dizingof 3D Printing. Recuperado de https://www.3dizingof.com/3D-Printing/2014/04/slicing-up-the-tetra-horse/

Natural Machines. (2015-2017). *Topic: Machine.* [Figura]. Recuperada de https://www.naturalmachines.com/faq/

Neurath, Johannes. (2012). *Huicholes. Pueblos indígenas del México contemporáneo.* México: Comisión Nacional para el desarrollo de los pueblos indígenas.

Nuñez Barja, Bidder. (2009). *La tienda de las cortinas* [Figura] Recuperada de http://latiendadelascortinas.blogspot.com.es/

Olexa, Russ. (Ed.). (2001). The Father of the Second Industrial Revolution. *Manufacturing Engineering.127,* (2). Recuperado de http://www.sme.org/Tertiary.aspx?id=36002

Ortega, Laura. (2015). Nueva impresora 3d de estereolitografía para uso personal y profesional. *Impresoras 3D*. Recuperado de

https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102921031-nueva-impresora-3d-de-estereolitografia-para-uso-personal-y-profesional

Palacios Díaz, Mª Dolores. (2011). La Capilla del humo. Capilla Brother Claus. Peter Zumthor. *AxA, Una Revista de Arte y Arquitectura,* 1-13.

Palacios, César-Javier. (2011). El fantasma de Chillida vuelve a aparecerse en Fuerteventura. *20 minutos* [Figura]*.* Recuperada de http://blogs.20minutos.es/cronicaverde/2011/01/27/el-fantasma-de-chillida-vuelve-a-aparecerse-en-fuerteventura/

Perepelkin, Paulina. (2013). “Baroque” 3D printed dress by Pia Hinze. *Additive Fashion* Recuperado de http://www.additivefashion.com/baroque-3d-printed-dress-by-pia-hinze/

Pérez Marín, Jaime. (2014). La máquina de sacar puntos. *El mirador de las artes.* Recuperado de http://miradorartes.blogspot.com.es/2014/02/la-maquina-de-sacar-puntos.html

Plasticbages Industrial. (2012). *Fabricación y comercialización de plásticos técnicos. PVC.* Recuperado de http://www.plasticbages.com/pvcplastico.html

Producto3D. (2015). *Airbus A350 XWB despega con más de 1.000 piezas impresas en 3D – Producto 3D.* Recuperado de: http://producto3d.com/airbus-a350-xwb-despega-con-mas-de-1-000-piezas-impresas-en-3d/

RAEE, Andalucía. (2017). *¿Cómo funcionan las plantas de reciclaje de #RAEE?* Recuperado de http://www.raeeandalucia.es/actualidad/como-funcionan-plantas-reciclaje-raee

Roque Miguel A. y Valverde, Roxana. (2012). *La observación y percepción del entorno y modelos en el espacio a través de aplicaciones prácticas. Arte, educación y cultura*. COLBAA: Jaén.

Sabbe, Heleen. (2016). Nick Ervinck. Archaeologist of the imagination. *Catalogue f Nick Ervinck's exhibition GNI-RI.*

Saito, Keiko L. (2014). Arquitectura y ambiente. Una mirada renovada sobre los conceptos Ku, Oku y Ma*. KOKORO: Revista para la difusión de la cultura japonesa,* (14), 2-13.

Samudio Marino, Patricia. (2000). Intervención en el paisaje de Tindaya, la escultura de Eduardo Chillida. *DC. Revista de crítica arquitectónica,* (4), 79-87.

Sánchez, Susana. (2015). Fusión por haz de electrones, les explicamos todo. *3D Natives.* Recuperado de http://www.3dnatives.com/es/fusion-por-haz-de-electrones-les-explicamos-todo/

Schvab, Luis. (2011). *Máquinas y herramientas: guía didáctica*. Argentina: Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Sher, Davide y Tutó, Xavier. (2015). La impresión de alimentos en 3D. *Elisava TdD.* (31), 104-117.

Sobre arquitecturas*. Reflexiones parciales y dispersas sobre arquitectura*. [Figura] Recuperada de https://sobrearquitecturas.wordpress.com/2015/11/16/capilla-bruder-klaus-peter-zumthor/

Stratasys. (2015). *Airbus imprimió en 3D más de mil piezas para su avión A350*. Recuperado de http://www.stratasys.com/es/industrias/aeroespacial-militar/airbus

Studio Bitonti. *Design & material innovation for the information age* [Figura]. Recuperada de http://studiobitonti.com/ditas-gown/

Studio Nick Ervinck. [Figura]. Recuperada de http://nickervinck.com/en/works/detail-2/korobs

Tatarkiewicz, Wladislaw. (2001). *Historia de seis ideas. Arte, belleza, forma, creatividad, mímesis, experiencia estética.* Madrid: Editorial Tecnos.

TecnoGraphic. (2015). *La impresión 3D en el sector dental* [Figura]. Recuperada de http://tecnographic.net/la-impresion-3d-en-el-sector-dental/

TenBrink, Marisa. (2009*). Maya Lin's Environmental Installations: Bringing the Outside*. Recuperado de https://www.kon.org/urc/v9/Interconnected-Through-Art/tenbrink.pdf

Textos Científicos. (2005). Policloruro de Vinilo – PVC. *Textos Científicos.* Recuperada de https://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc

The Columns Gallery. (2010). *Gallery Exhibitions 2006-2010.* Recuperado de http://www.columns.co.kr/v3/exhibition/columns_catalog.pdf?PHPSESSID=81a1ab3ee745cdac618cf82251f17a80

The Vinyl Institute. (2015). *PVC en la construcción. Funcionalidad, belleza e innovación*. Recuperado de http://www.foroandinopvc.org.co/documentos/PVC_construccion.pdf

Universidad de las Américas Puebla (UDELAP). (2012). *Expresión artística de los huicholes*. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/ldg/landa_c_al/capitulo4.pdf

Upputuri, Raja. (2014). *History of 3D Printing Technology.* Recuperado de http://www.think3d.in/3d-printing-history/

Valdearcos, Enrique. (2007). Arquitectura y urbanismo en los ss. XIX y XX. *Clio* (33), 1-16.

Vergara González, J. (2007). Papel comestible e impresora en la cocina, "sushi" en el menú. *Calma Digital.* Recuperado de http://www.calmadigital.info/2007/papel-comestible-e-impresora-en-la-cocina-sushi-en-el-menu/

Visnjic, Filip. (2010). Fluid Vase [Processing, Objects]. *Creative Applications Network.* [Figura]. Recuperado de

http://www.creativeapplications.net/processing/fluid-vase-processing-objects/#disqus_thread

Warnier, C., Verbruggen, D., Ehmann, S. & Klanten, R. (Eds). (2014). *Printing Things: Visions and Essentials for 3D Printing.* Berlín: Gestalten.

Weinhoffer, Eric. (2017). A Conversation With 3D Artist Joshua Harker. *Make* Recuperado de http://makezine.com/2013/04/18/a-conversation-with-3d-artist-joshua-harker/

Wheeler, William. (1997). *Talla y dorado de la madera. Cómo diseñar y realizar paneles, molduras, tallas y marcos.* Barcelona: CEAC

Willet, Megan. (2014). This Is The Best 3D Food Printer We've Seen Yet — And It Makes Stunning Desserts. *Business Insider.* [Figura]. Recuperada de http://www.businessinsider.com/3d-systems-chefjet-printers-2014-9

Winsun. (2015). *3D Printing Construction.* [Figura]. Recuperada de http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content

ZCorporation. (2011). *Cómo funciona la impresión 3D. La visión, la Innovación y la Tecnología detrás de la Impresión 3D de Inyección de tinta.* Burlington, EE.UU.

Lista de figuras

Figura 1. Esquema del proceso de reciclaje selectivo de varios materiales 45
Figura 2. Esquema de Arup ingeniería de la obra de Eduardo Chillida en Tindaya 46
Figura 3. Recreación virtual del interior de Tindaya penetrando la luz en los dos tragaluces 47
Figura 4. Peter Zumthor, *Capilla Bruder Klaus*, 2007. Mechernich, Alemania. Imagen con el proceso de creación de la capilla con una estructura interna con troncos de madera, denominada "hormigón enramado”. 48
Figura 5. Parte interna de la Capilla tras haber carbonizado la estructura de troncos de madera. 49
Figura 6. Parte externa de la Capilla mostrando la entrada, los orificios, sus lados y el óculo. 50
Figura 7. Museo Guggenheim de Bilbao, 1997.Frank Gehry. 53
Figura 8. Daniel Libeskind, *Micromegas Project, Time Sections*, 1979. Boceto a lápis 54
Figura 9. Los zapatos, Vincent Van Gogh, 1886 56
Figura 10. Molde perdido realizado con escayola, proceso de vaciado 63
Figura 11. Molde perdido realizado con escayola, proceso de vaciado **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 12. *TheTruffle,* 2010*.* Esquema del proceso desarrollado por el equipo multidisciplinar de Ensamble Studio en la Costa da Morte 65
Figura 13. Parte externa e interna de *The Truflle*. Construcción del vacío 66
Figura 14. Ejemplo de las primeras máquinas de CN controladas por tarjetas perforadas 69
Figura 15. Primera máquina fresadora CNC con cambiador de herramientas automático, Milwaukee-Matic-II, realizada en 1959 71
Figura 16. Mecanizado sin arranque de viruta mediante forja con acero inoxidable. Proceso en frío y caliente por CNC 73
Figura 17. Torno horizontal DANOBAT TCN de cuatro ejes desbastando 74
Figura 18. Esquema de funcionamiento de una CNC 75
Figura 19. Bloque secuencial del programa CNC mostrándonos las ordenes de movimiento 78
Figura 20. Ejemplos de diferentes operaciones de corte empleadas en un torno 83
Figura 21. Partes generales de un torno tradicional 84
Figura 22. Esquema de funcionamiento del fresado periférico 86
Figura 23. Esquema de funcionamiento del fresado convencional y concurrente 87
Figura 24. Esquema de las marcas del fresado careado mediante diversos insertos 88
Figura 25. Esquema de funcionamiento del fresado frontal 88
Figura 26. Partes de una fresadora tipo columna y codo de husillo horizontal (a) y mediante husillo vertical (b) 90
Figura 27. Partes de una fresadora tipo columna y codo de husillo horizontal (a) y mediante husillo vertical (b) 91
Figura 28. Partes de una fresadora CNC SBM-3114 93
Figura 29. Fresas de metal duro integral cilíndricas helicoidales con diferentes tipos de cortes 99
Figura 30. Torno CNC trabajando con inserto de metal duro mediante el método PrimeTurning™ . 101

Figura 31. Inserto de metal duro sin recubrir e inserto recubierto 102
Figura 32. Dureza de diferentes materiales para herramientas de corte en función de la temperatura 105
Figura 33. David Siqueiros, *La Marcha de la Humanidad en la tierra y el cosmos, 1939,* piroxilina cemento y celotex, superficie pintada del suelo al techo, 2,400m2 119
Figura 34. David Siqueiros, *La Marcha de la Humanidad en la tierra y el cosmos, 1939,* piroxilina sobre cemento y celotex, superficie pintada desde el suelo al techo, 2,400m2 120
Figura 35. Prototipos rápidos de productos impresos en 3D 132
Figura 36. Imágenes digitales de la Madonna in Trono di Pietranico, S. XVII, partiendo del escaneado en 3D. 133
Figura 37. Proceso de escaneado 3D con HandySCAN 3D portable scanner y su análisis virtual con VXinspect software 134
Figura 38. Sistema de puntos o puntómetro en la obra escultórica de Antonio Cánova, quien mejoró la técnica 135
Figura 39. Variedad de confitería impresas en 3D por la empresa 3D Systems 136
Figura 40. Impresión de hamburguesas de carne mediante Foodini 137
Figura 41. Juguete impreso en 3D personalizado por el cliente 138
Figura 42. Muñeco impreso en 3D de la serie Inkimals 138
Figura 43. Máquina de impresión Bs Toy junto a resultados de diferentes materiales 139
Figura 44. Exoesqueleto *WREX* desarrollado por el Hospital Infantil Alfred I. duPont 141
Figura 45. Modelo en 3D de un embrión desarrollado, por Jorge Lopes Dos Santos, a través de Foetus Project 141
Figura 46. Impresión en 3D de molde dental y ejemplos de coronas 142
Figura 47. Semiguardabarros impreso en 3D en resina ULTEM 9085 por Minimizer 144
Figura 48. Vehículo impreso en 3D por Local Motors, Strari 145
Figura 49. Pulsera y collar impreso en 3D, diseñado por Alissia Melka-Teichroew 146
Figura 50. Vestido impreso en 3D (2013) para la modelo Dita Von Teese 147
Figura 51. Tríptico del World Trade Center expuesto en el Fire Museum de New York, de David Munson 148
Figura 52. Máquina imprimiendo de la compañía Winsun y resultado de una vivienda 149
Figura 53. Sillas miniature impresa en 3D por Kevin Spencer 150
Figura 54. *Fluid Vase*. Pieza decorativa diseñada e impresa por Fung Know Pan 150
Figura 55. Impresión mediante pluma Lix 3D 152
Figura 56. : Impresión con pluma LIX 3D de objetos decorativos e injertos en vestimenta 154
Figura 57. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *SLA* 155
Figura 58. Nuevo lanzamiento de FABtotum PRISM- Alpaha concept 157
Figura 59. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *SLS* 158
Figura 60. Impresora 3D OpenSLS trabajando y detalle impreso en nylon 159
Figura 61. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *DSPC* 160
Figura 62. Resultado final post-procesado 161

Figura 63. Extracción del polvo para su reciclaje posterior 161
Figura 64. Esquema del funcionamiento por partes de fusión de haz de electrones o EBM 162
Figura 65. Impresora Arcam EBM proyectando el haz de electrones y resultado de una pieza 165
Figura 66. Imagen explicativa del funcionamiento de la maquina mediante *SDL* 165
Figura 67. Esquema visual de trabajo del funcionamiento de la impresión por SDL 167
Figura 68. Proceso de extracción de material laminado y resultado final a color mediante SDL 167
Figura 69. Esquema de funcionamiento de la tecnología Polyjet 168
Figura 70. Modelo 3D impreso con múltiples materiales 170
Figura 71. Impresora Polyjet en funcionamiento 170
Figura 72. Resultado de un dulce impreso con Chefjet (izquierda) y Chefjet Pro (derecha) 171
Figura 73. Explicación del funcionamiento de una máquina *FDM* 172
Figura 74. Ultimaker original imprimiendo una pieza mediante PLA 174
Figura 75. Copa impresa con PLA termocromático. Cambio de color tras verter agua caliente 178
Figura 76. PLA fotocromático UV enrollado en la bobina. Se observa el cambio de color sólo en las partes donde incide la luz 179
Figura 77. Prototipos impresos en PLA fotocromático *Glow in the dark* (brilla en la oscuridad) 179
Figura 78. Prototipos impresos con filamento de madera 180
Figura 79. Rueda impresa con filamento flexible 181
Figura 80. Obra *Floor Cake* (1962) del artista Claes Oldenburg expuesta en el MOMA 182
Figura 81. Boceto seccionado de la pieza 182
Figura 82. Fragmento de PLA translúcido azul, impresión del mismo en forma de placa con Ultimaker original y bañado con solvente Thinner americano 183
Figura 83. Retrato de Maya Lin 187
Figura 84. Maya Lin, El paisaje, 2006, acumulación de teselas de madera, 60x20x10 pies 189
Figura 85. Maya Lin, *Water Line*, 2006, tubos de aluminio y pintura, 579,1x 914,4 x1.059,2 cm 190
Figura 86. Maya Lin. *Blue Lake Pass,* 2006, instalación de aglomerado de partículas Duraflake, 20 bloques, cada uno de 76,2 x 91,4 cm x 91,4 cm 191
Figura 87. Maya Lin, *Bodies os Water Series*, 2006, contrachapado de abedul del báltico 191
Figura 88. Maya Lin, *Pin River-Hudson*, 2009, alfileres de acero, 261.6 x 191 x 3.8 cm 192
Figura 89. Retrato de Benjamin Ball y Gaston Nogues 193
Figura 90. Benjamin Ball y Gaston Nogues, *Rip Curl Canyon,* 2006, cartón y madera, dimensiones variables 194
Figura 91. Benjamin Ball y Gaston Nogues, *Rip Curl Canyon*, 2006, cartón y madera, dimensiones variables 195
Figura 92. Benjamin Ball y Gaston Nogues, *Tiffany & Company Gehry Jewelry Launch,* 2006, cartón y madera, 19”x 60”x20” 196
Figura 93. Ji Eun Lee, *Sin Título* 197
Figura 94. Ji Yong-Ho, *01 Mutant*, 2006, neumático, madera, EPS, 125 x 110 x 110 cm 198
Figura 95. Ji Eun Lee, *Sin título*, goma E.V.A, 50 x 140 x 7cm 199
Figura 96. Rodríguez Caballero, retrato fotográfico 200

Figura 97. Rodríguez Caballero, *Serie Geometrías*, 2011, esmalte sobre aluminio 201
Figura 98. Rodriguez Caballero, *Sin título (amarillo, azul y blanco)*, 2007, vinilo sobre lamina de policarbonato, 26 x26 cm 202
Figura 99. Vista nocturna del proyecto en relación con el entorno 203
Figura 100. Simulación virtual del conservatorio tanto interno como externo 204
Figura 101. Maqueta de la fachada para el Casino Hotel Troia 205
Figura 102. Vista nocturna del Casino Hotel Troia 205
Figura 103. Markus Linnenbrink, retrato fotográfico 206
Figura 104. M. Linnenbrink, *Let´sgetchineseeyes,* 2012, 140x250 206
Figura 105. Markus Linnenbrink, *Remadewhitehorizons*, 2009*,* resina epoxi sobre madera, 77.4 cm x 82.56 cm 207
Figura 106. Markus Linnenbrink, *Skull 3 & 4-lifesize, 2011,* resina epoxi y pigmentos sobre cráneos de enseñanza 208
Figura 107. Eduardo Costa, retrato. 209
Figura 108. Eduardo Costa, *Accidental intersection of a red cylinder and a fluid plane*, 2008*,* pintura acrílica sobre lienzo, 61 x 47 x 20 cm 210
Figura 109. Eduardo Costa, *Soft orange painting,* 2008-09, pintura acrílica sólida, 65 x 61 x 2,5cm 211
Figura 110. Eduardo Costa, *Black matte & glossy painting*, 2009-10, pintura acrílica sólida, 62 x 46 x 3 cm 211
Figura 111. Retrato de Bernard Frize 212
Figura 112. Bernard Frize, *Limpa*, 2009, acrílico y resina sobre lienzo, 160x141cm 213
Figura 113. Bernard Frize, *Frigan*, 2008, acrílico y resina sobre lienzo, 185x185cm 213
Figura 114. Retrato de Ian Davenport 214
Figura 115. Ian Davenport, *Puddle Painting: Magenta, Green, Violet, Green*, 2008, acrílico sobre aluminio, 200x200cm 215
Figura 116. Detalle del proceso mediante jeringa y pintura acrílica muy diluida 216
Figura 117. Ian Davenport, *Puddle Painting: White/Black/Grey*, 2010, acrílico sobre aluminio, 45.2x38.1cm 216
Figura 118. Retrato fotográfico de Jen Stark 217
Figura 119. Jen Stark, *Radial Revere*, 2008, papel cortado a mano libre se ácido sobre madera, 51x51x19cm 218
Figura 120. Jen Stark, *Dimension*, 2013, PVC pintura acrílica, barniz y monofilamento, 63,5 x 63,5 x 127 cm 218
Figura 121. Jen Stark*, Inside Out*, 2014, papel libre de ácido, cartón pluma, pegamento, madera, pintura acrílica y barniz, 82 x 45,5 x 45,5 cm 219
Figura 122. Retrato de Joshua Harker 221
Figura 123. Josua Harker, *Crania Anatomica Filigre*, 2011, impresión 3D mediante SLS con poliamida/nylon, 6,7 x 8,8 x 8,9 cm. 222

Figura 124. Joshua Harker*, Crania Anatomica Filigre: Binary*, 2011, impresión 3D con poliamida, 14.0 x 19.9 x 15.3 cm. 223
Figura 125. Joshua Harker, *Anatomica di Revoluis* (*Phoenix Revolutis*/47.7 x 34.0 x 8.2 cm, *The Crooked Cairn*/ 5.5 x 6.2 x 12.8 cm, y *Crania Revolutis* / 8.9 x 13.2 x 10.4 cm), 2012, impresión 3D mediante SLS con poliamida/nylon 224
Figura 126. Retrato de Nick Ervinck, 2010 225
Figura 127. Nick Ervinck, *Korobs*, 2009, impresión cubierta con pexiglás, 125 x 185 cm 226
Figura 128. Nick Ervinck*, Agrieborz*, 2009-2010, impresión 3D, 53 x 34 x 33 cm 227
Figura 129. Nick Ervinck*, Cirbuats,* 2011-2013, poliéster y fibra de vidrio sobre espuma de poliuretano, 1500 x 800 x 800 cm 228
Figura 130. Retrato de Pia Hinze 229
Figura 131. Pia Hinze, colección *Néobaroque*, 2013, vestido impreso en PLA flexible 230
Figura 132. Pia Henze, colección *Néobaroque*, 2013, vestido impreso en PLA flexible 231
Figura 133. Retrato de Asher Nahnias. 232
Figura 134. Dizingof, *Tetra Horse*, 2013, modelo 3D renderizado 233
Figura 135. Dizingof, *Lord of the skulls,* 2014, modelo 3D renderizado e impresión real, 150x90x105mm 233
Figura 136. Dizingof, *Sliced skull,* 2016, modelo 3D renderizado, 129x108x152mm 234
Figura 137. Retrato de Aldo Bakker, 2014 235
Figura 138. Aldo Bakker, *Artefact*, 2014, porcelana (negro y blanco), 244 x 109 x 124 mm 237
Figura 139. Aldo Bakker, *Pivot*, 2014, plata fina chapada en oro, 95x82x146mm 237
Figura 140. Estructura del PVC 248
Figura 141. Fórmula del PVC 249
Figura 142. Polimerización 249
Figura 143. Aditivación 250
Figura 144. Anverso y reverso PVC calandra 251
Figura 145. Anverso y reverso PVC extrusión 252
Figura 146. Anverso y reverso melanina 253
Figura 147. ABS anverso y reverso 254
Figura 148. Clóset de PVC laminado color wengué 256
Figura 149. Cocina de PVC con alacena vertical, puertas con persiana y cubierta de formica 257
Figura 150. Plafón de PVC marrón 257
Figura 151. Puerta plegable de PVC 258
Figura 152. Persiana de PVC en cuatro colores 258
Figura 153. Lijas de 150cm de ancho, de diferente dureza 262
Figura 154. Detalle de melanina natural incrustada en puerta 263
Figura 155. Detalle del mueble 263
Figura 156. Detalle de puerta 2 264
Figura 157. PVC como plancha, resultado en papel y contacto de papel a PVC 265
Figura 158. Prueba de plancha de zinc a PVC 1 y 2 265

Figura 159. Prueba de serigrafía con pintura acrílica y serigrafía con aerógrafo 266
Figura 160. Prueba de inicio virtual. Sección de corte 267
Figura 161. Prueba de inicio del total de las planchas 268
Figura 162. Imagen virtual del bloque de trabajo. 40x50cm 268
Figura 163. Volteo de 180º junto con la inserción de los planos 270
Figura 164. Representación visual de análisis de curvatura 271
Figura 165. Análisis de curvatura *gaussiana* 272
Figura 166. Análisis de curvatura *media* 272
Figura 167. Análisis de radio máximo 274
Figura 168. Análisis de radio mínimo 274
Figura 169. Diferentes vistas de la obra concluida 275
Figura 170. Detalle de las 400 planchas en digital 275
Figura 171. Análisis bobina PVC roja 276
Figura 172. Análisis bobina PVC blanca 276
Figura 173. Proceso de corte con cizalla 276
Figura 174. Planchas cortadas y visualización de la curvatura 277
Figura 175. Presión mediante gatos de sujeción 277
Figura 176. Simulación Doce 4, 25x25cm. 278
Figura 177. Simulación PC I. 25x25cm. 278
Figura 178. Fase de pegado mediante la utilización de gatos y escuadra 279
Figura 179. Bloque completo encolado 280
Figura 180. Proceso de desbaste. Fresa de 12mm 281
Figura 181. Proceso de pulido. Fresa de 8mm 282
Figura 182. Diferentes vistas de la obra PC II_2012 283
Figura 183. Obra final sobre peana PC II_2012 284
Figura 184. Render 1 de la obra en un emplazamiento artístico 286
Figura 185. Render 2 de la obra en un emplazamiento artístico 286
Figura 186. Plano cenital de la sala expositiva 287
Figura 187. Detalle del sistema de sujeción 287
Figura 188. Diseño con Rhinoceros del resultado final de una pieza adosada a la pared. 289
Figura 189. Distintas vistas del diseño con Rhinoceros de una pieza sobre peana 290
Figura 190. Serie de renders de distintas piezas 292
Figura 191. Proceso de fresado mediante CNC 293
Figura 192. Resultado tras la primera parte de fresado. Fase de desbaste 293
Figura 193. PCI_2014 294
Figura 194. PCII_2014 295
Figura 195. PCIII_2014 296
Figura 196. PCIV_2014 297
Figura 197. PCV_2014 298
Figura 198. PCV_2014 299

Figura 199. PCI.NOIR_2014 / PCI.BLANC_2014 300
Figura 200. PC DOUBLE_2014 301
Figura 201. CUBENOIR_2014 303
Figura 202. CUBEBLANC_2014 305
Figura 203. PC COURBE I_2014 307
Figura 204. PC COURBE II_2014 309
Figura 205. Baño de vapor con Thinner americano observando la flexibilidad 326
Figura 206. Baño de vapor en suspensión y sobre base de madera 326
Figura 207. Fragmento de PLA translúcido naranja, impresión del mismo en forma de placa con Ultimaker original y baño con solvente 327
Figura 208. Fragmento de PLA blanco puro, impresión del mismo en forma de placa con Ultimaker original y aplicación de pan de oro a la mixtión 328
Figura 209. Pieza abierta con ZBrush. Observación de partes flotantes 334
Figura 210. Utilización de la herramienta *Polish* para pulir la pieza 335
Figura 211. "Subdivisión" para el aumento de "poligonaje" 336
Figura 212. Empleo de una máscara para establecer una comparativa con nuestro anterior trabajo 336
Figura 213. Renders con Keyshot como resultado previo a la impresión 3D 337
Figura 214. PCI.BLANC_2014 (*gold edition*) abierta con Cura. Pre-visualización y ajustes de impresión 338
Figura 215. Realización del rebanado o *slicing*. 339
Figura 216. Observación de la parte interna de la pieza por capas 339
Figura 217. Impresión de la pieza con Ultimaker Original mediante PLA 340
Figura 218. Impresión finalizada. Detalle de la misma y encuadre global 341
Figura 219. Fondeado con rojo primario y pintura conductiva color oro 341
Figura 220. Pieza expulsando el sulfato de cobre 343
Figura 221. Pieza abierta con ZBrush. Observación de partes flotantes 344
Figura 222. Empleo de una máscara para establecer una comparativa con nuestro anterior trabajo 345
Figura 223. PCI.NOIR_2014 (*gold edition*) abierta con Cura. Pre-visualización y ajustes de impresión 346
Figura 224. Realización del *slicing* 346
Figura 225. Parte interna de PCI.NOIR_2014 (gold edition) por capas 347
Figura 226. Impresión de PCI.NOIR_2014 (gold edition) con PLA 347
Figura 227. Impresión finalizada. Detalle de la misma y encuadre global 348
Figura 228. Fondeado con rojo primario y pintura conductiva color oro 349
Figura 229. Cráneo anatómicamente correcto con maxilar inferior señalado 350
Figura 230. Cráneo anatómicamente correcto con maxilar inferior separado 351
Figura 231. Cráneo deformado. Dientes unidos al maxilar inferior 351
Figura 232. Cráneo con las cavidades desvanecidas y la máscara 352

Figura 233. Modelo en 3D finalizado 352
Figura 234. Seccionado por capas (*slicing*) y ajustes de impresión 353
Figura 235. Configuraciones del proceso de impresión 354
Figura 236. Impresión de C.I_2014 (gold edition) con PLA 354
Figura 237. Baño de vapor con tetrahidrofurano para pulir la pieza 355
Figura 238. Modelo de una lengua realizado con ZBrush 356
Figura 239. Huicholiano I durante el proceso de impresión con PLA 357
Figura 240. Impresión en partes: base craneal, maxilar inferior y lengua 357
Figura 241. Parte superior del cráneo cubierta con cera Campeche y mesa de trabajo con chaquiras 359
Figura 242. Huicholiano I cubierto con chaquiras de diferentes colores 360
Figura 243. Agujas-chaquiras y mesa de trabajo mostrando la preparación de las mismas 363
Figura 244. Huicholiano II cubierto con chaquiras de diferentes colores 363
Figura 245. Modelo 3D importado en Cura con las medidas de impresión 366
Figura 246. Maxilar inferior impreso recubierto con chaquiras y cerebro 367
Figura 247. Impresión finalizada de la base craneal cubierta con chaquiras 367
Figura 248. Modelo 3D importado en Cura con el tiempo de impresión 369
Figura 249. Cuerno impreso y base craneal cubierta con chaquiras 370
Figura 250. Cuerno lijado y torno para madera con lija acoplada 370
Figura 251. Sistema de pegado de los cuernos mediante cuña de madera 371
Figura 252. Tatewari completo. Pirograbador fundiendo las partes sobrantes 372
Figura 253. PCI.BLANC_2014 (*gold edition*) 373
Figura 254. PCI.NOIR_2014 (*gold edition*) 374
Figura 255. C.1_2014 (*gold edition*) 375
Figura 256. Huicholiano I. 376
Figura 257. Huicholiano II 377
Figura 258. Shewi 378
Figura 259. Tatewari 379

Lista de tablas

Tabla 1. Tabla de códigos G y M para torno CNC……..79
Tabla 2. Bloque de programa CNC……..…80
Tabla 3. Tabla de los métodos de montaje de insertos en portaherramientas…...100
Tabla 4. Listado de materiales, composición y descripción para FDM……176

ANEXOS

1.1 FICHAS TÉCNICAS PVC DE CALANDRA

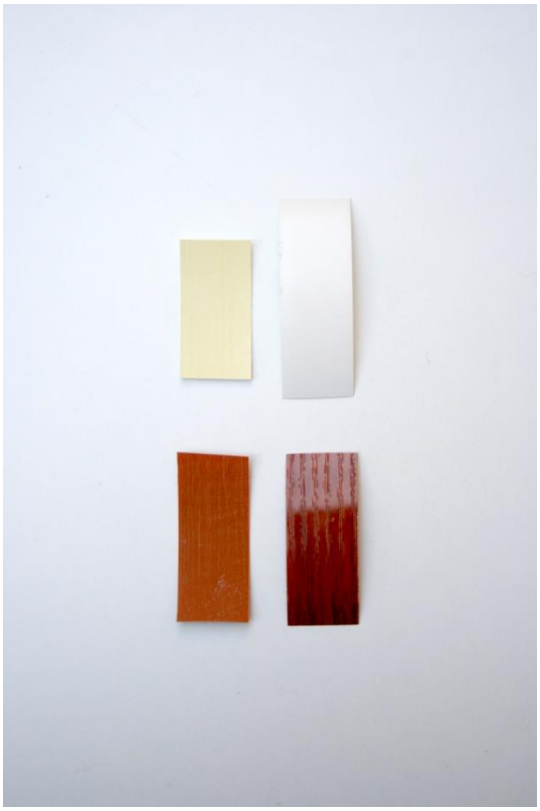
Prueba 1	**17-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	20x60x0.4mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco y marrón Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate, marrón brillo

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Ninguna
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	20x60x0.4mm

Proceso: solamente mostramos dos muestras del anverso y el reverso del PVC de calandra como ejemplo.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	El anverso siempre suele ser más claro y brillante, está mejor tratado que el reverso.



Muestra de PVC de calandra por las dos caras.

Prueba 2	**17-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de extrusión
Dimensión de origen	20x50x0.4mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: azul y marrón Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: azul mate, marrón brillo

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Ninguna
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	20x50x0.4mm

Proceso: solamente mostramos dos muestras del anverso y el reverso del PVC de extrusión como ejemplo.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	El anverso siempre suele ser más claro y brillante, está mejor tratado que el reverso.

Muestra de PVC de extrusión por las dos caras.

Prueba 3	**17-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Melamina
Dimensión de origen	20x50x0.4mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: negro y marrón Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: negro brillo, marrón brillo

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Ninguna
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	20x50x0.4mm

Proceso: solamente mostramos dos muestras del anverso y el reverso de melamina como ejemplo.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	El anverso siempre suele ser más claro y brillante, está mejor tratado que el reverso.

Muestra de melamina por las dos caras.

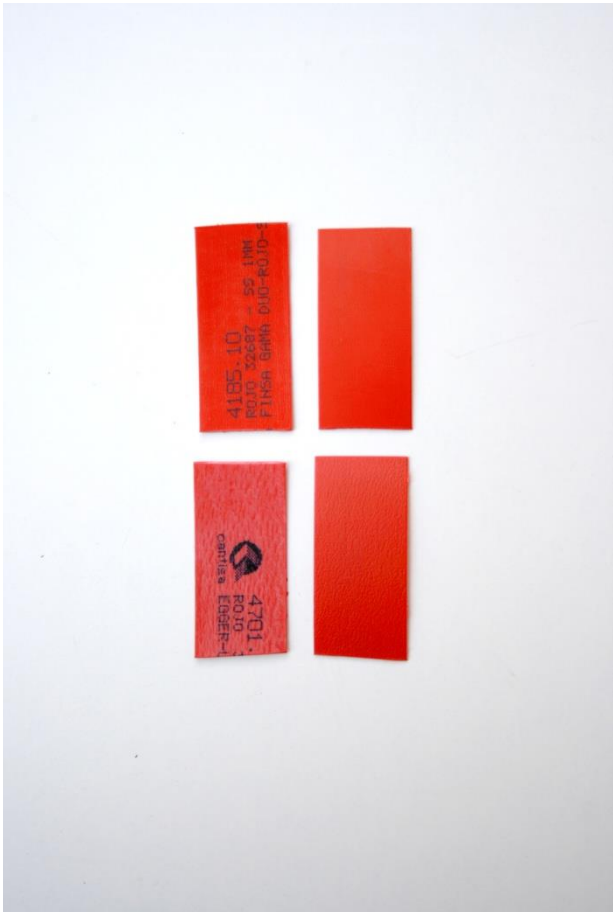
Prueba 4	**17-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	ABS
Dimensión de origen	20x40x0.4mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Ninguna
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	20x40x0.4mm

Proceso: solamente mostramos dos muestras del anverso y el reverso de ABS y PVC de calandra como ejemplo.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	El anverso siempre suele ser más claro y brillante, está mejor tratado que el reverso.



Muestra de ABS y PVC de calandra por las dos caras.

Prueba 5	**17-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	50x70x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Reacción frente al colocarle tricloroetileno
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	50x70x1mm

Proceso: aplicamos en un trapo tricloroetileno, y con un cristal lo presionamos para ver cómo reacciona el PVC por sus dos caras.

Material cubriente	
Denominación	Tricloroetileno
Marca	Titan / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Penetra en el material dejando un surco y lo blandea.
Observaciones	En el anverso el material se infla al ponerle tricloroetileno, mientras que en el reverso tiende a hundirse.

Muestra de PVC de calandra con tricloroetileno.

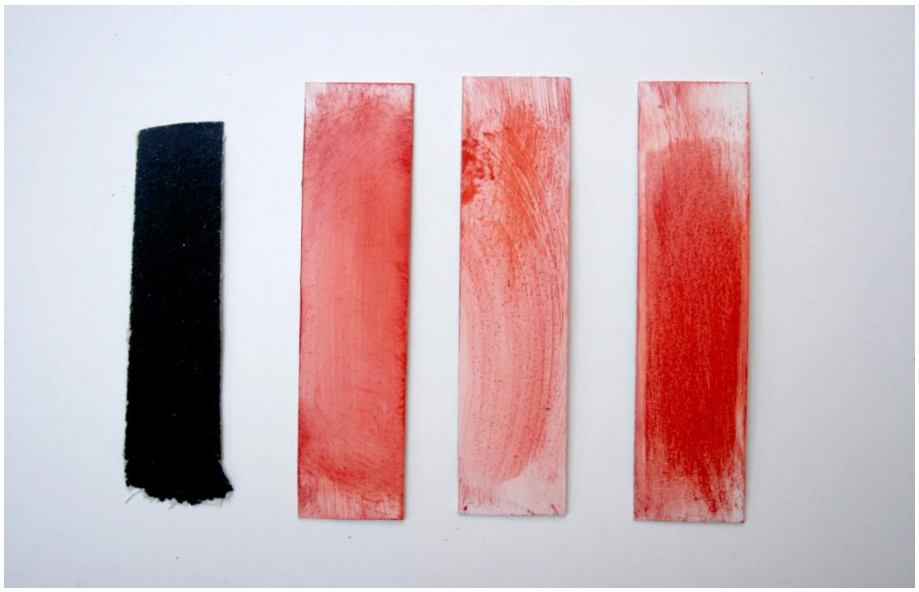
Prueba 6	**17-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	45x100x1mm y 25x75x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Tinta calcográfica.
Tipo de intervención	Lijas de metal presionadas mediante tórculo.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	45x100x1mm y 25x75x1mm

Proceso: cogemos dos tipos de lijas para metales con diferentes espesores y las colocamos encima del PVC y lo pasamos todo por un tórculo.

Material cubriente	
Denominación	Tinta calcográfica / http://www.angiemeca.com/
Marca	Artools
Comportamiento	Al ser el material liso, al rozarse con algo se desprende si no está completamente seca.
Observaciones	Al colocar las lijas y pasarlas por el tórculo, observamos que, a mayor presión más cantidad de detalle y punteado nos deja la lija marcada en el PVC. Le aplicaremos tinta calcográfica para evidenciar el tratamiento.



Muestra de PVC de calandra y lijas de metal.

Muestra de PVC de calandra y lijas de metal.

Prueba 7	**19-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	25x85x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Unión con cola de contacto
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	25x85x1mm

Proceso: unimos dos planchas mediante cola de contacto para ver si es fácil despegarlas y si soporta altas presiones.

Material cubriente	
Denominación	Cola de contacto / http://www.pinturas-dario.com/
Marca	Imedio
Comportamiento	Se adhiere bien, pero el proceso es lento.
Observaciones	Se pega bien, pero necesitamos de un soporte para mantenerlas mientras secan y luego pegarlas. También hay que echarle por las dos caras, por lo que necesitamos gran cantidad de cola.

Muestra de dos planchas de PVC de calandra tras ser despegadas.

Prueba 8	**19-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	30x100x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Pegamento especial PVC rígido
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	30x100x1mm

Proceso: aplicamos pegamento especial para PVC rígido transparente y observamos que se funde con el material, haciéndolo casi imperceptible.

Material cubriente	
Denominación	Pegamento para PVC rígido http://www.servirain.com/
Marca	Gamma
Comportamiento	Se funde con el PVC.
Observaciones	Es un pegamento exclusivo para PVC, cuyo tiempo de secado completo es de 24h. Es totalmente transparente y muy viscoso.

Muestra de PVC de calandra con pegamento Gamma.

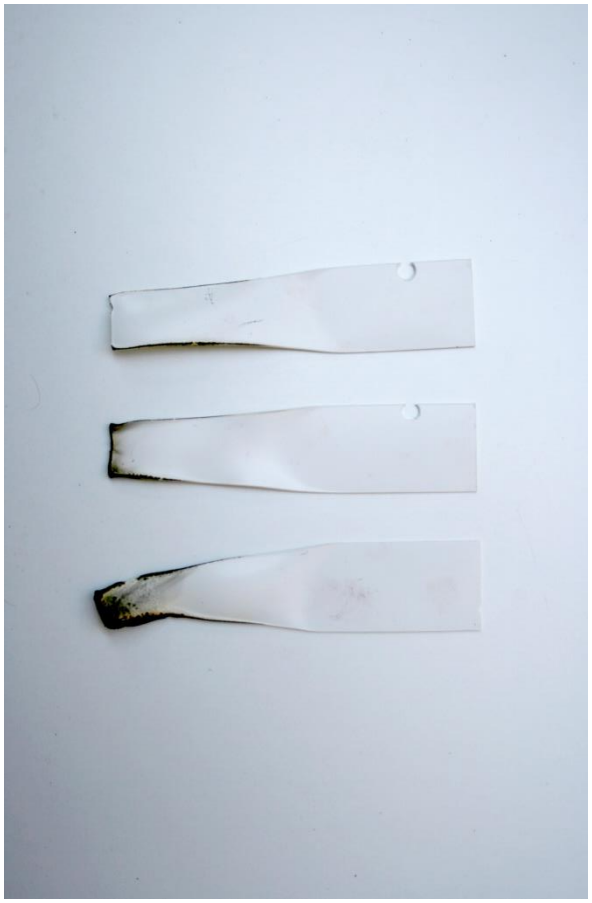
Prueba 9	**20-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	25x90x1mm y 25x65x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco y rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Comportamiento ante el fuego directo
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	25x90x1mm y 25x65x1mm

Proceso: mediante un soplete, la aplicamos fuego directo al material observando que se auto-extingue rápidamente sin llegar a arder.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	Se deforma con facilidad
Observaciones	Al ser tan maleable mediante el calor, es fácil deformarlo, ya que se reblandece fácilmente y luego vuelve a su estado de solidez.



Muestra de PVC de calandra tras aplicarle fuego.

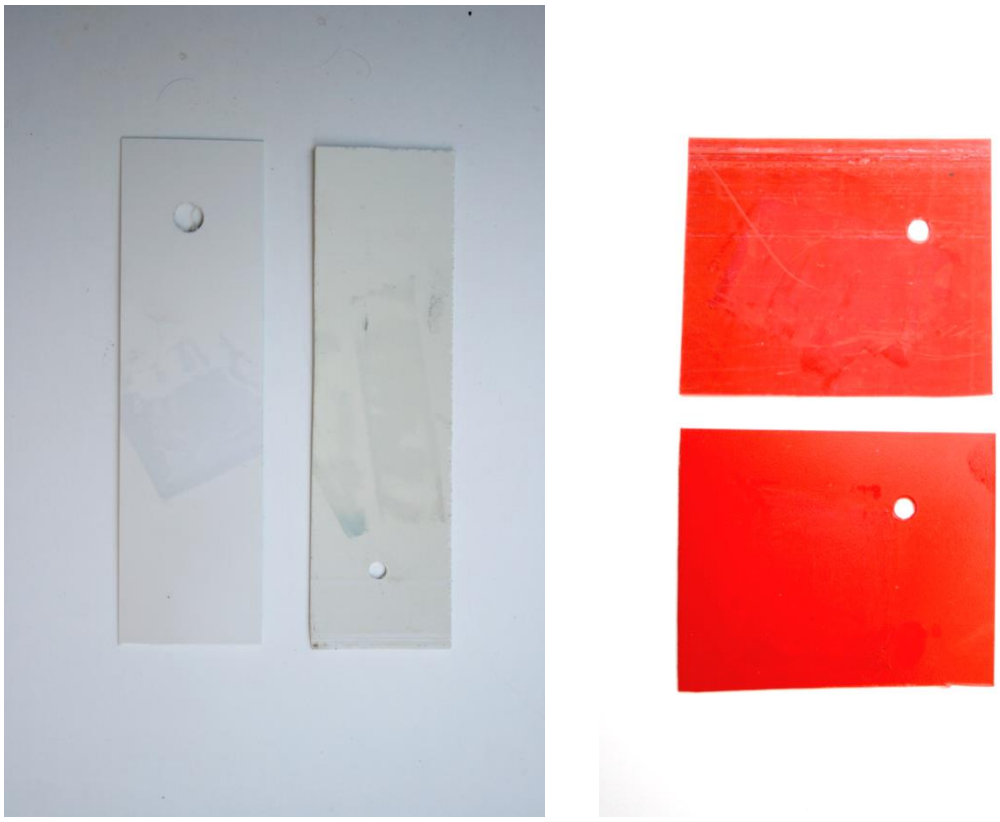
Prueba 10	**20-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	35x85x1mm y 45x70x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco y rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Aplicación de quitaesmalte
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	35x85x1mm y 45x70x1mm

Proceso: es muy similar a cuando aplicamos el tricloroetileno, solo que esta vez usamos quitaesmalte.

Material cubriente	
Denominación	Quitaesmalte / http://www.pinturas-dario.com/
Marca	Basic
Comportamiento	Se queda la marca del trapo, decolore muy poco
Observaciones	El anverso se queda marcado, y el reverso tiende a hundirse.



Muestra de PVC de calandra tras aplicarle quitaesmalte.

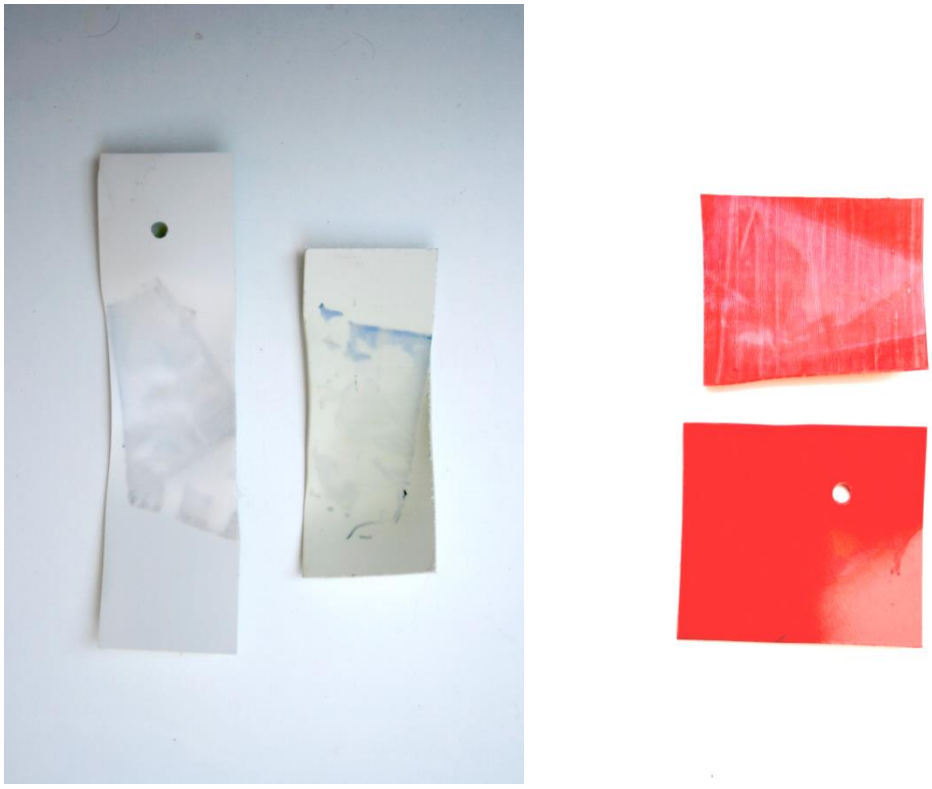
Prueba 11	**20-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	40x90x1mm y 60x70x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco y rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Acetona
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	40x90x1mm y 60x70x1mm

Proceso: igual que el anterior salvo que esta vez usamos como elemento atacante la acetona.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	Acetona / http://www.pinturas-dario.com/
Marca	Aldipa
Comportamiento	Deforma bastante el material.
Observaciones	Deforma tanto el anverso como el reverso, y deja la marca del trapo impregnado con acetona.



Muestra de PVC de calandra tras atacarle con acetona.

Prueba 12	**21-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	45x85x1mm y 35x85x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco y rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Aplicación de decapante
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	45x85x1mm y 35x85x1mm

Proceso: aplicamos decapante por ambas caras con un pincel y dejamos actuar para ver si arranca la pintura.

Material cubriente	
Denominación	Gel decapante rápido http://www.pinturas-dario.com/
Marca	Titan
Comportamiento	Reblandece el PVC y casi no quita pintura
Observaciones	Al ser el PVC de ese color, no arranca la pintura, salvo en el reverso del de color blanco que la quita muy levemente.

Muestra de PVC de calandra tras poner gel decapante.

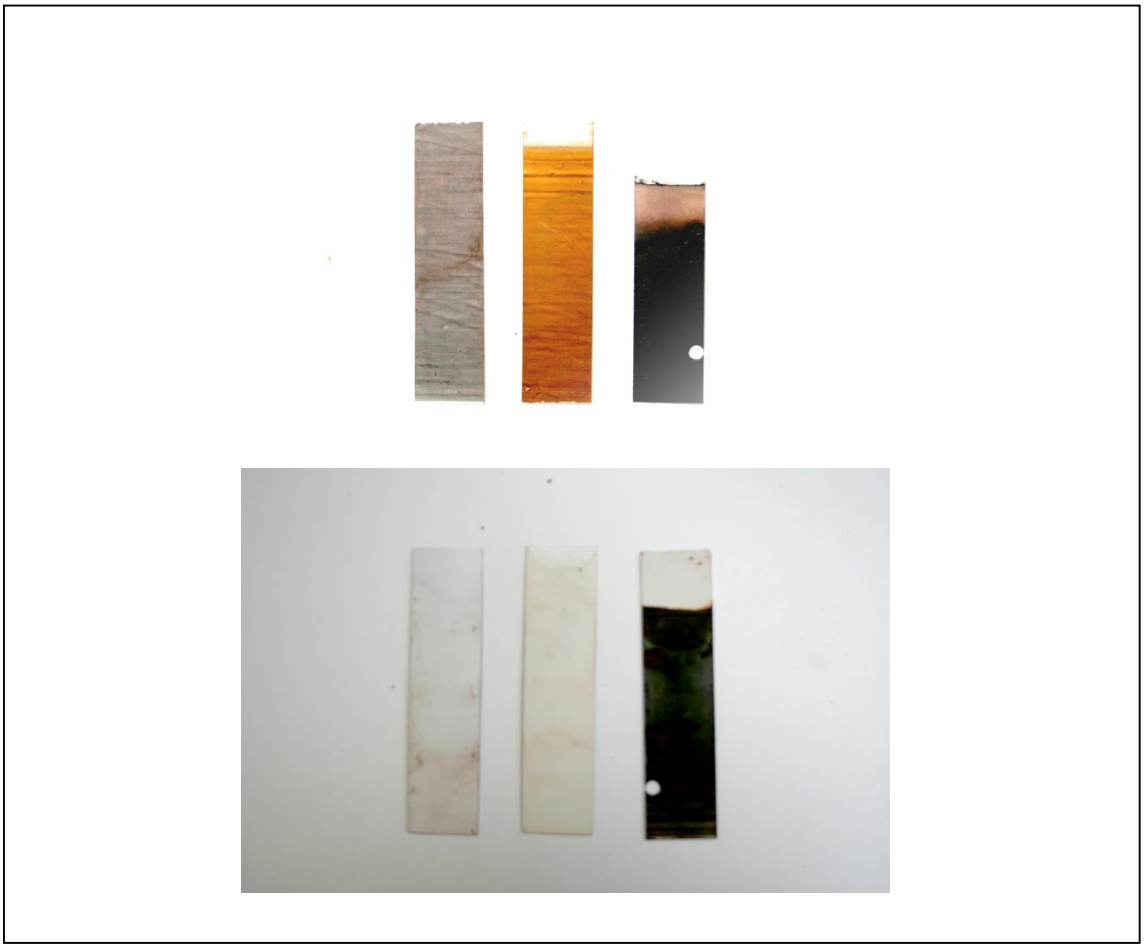
Prueba 13	**21-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	25x85x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Tintes al agua
Tipo de intervención	Sumergir el PVC en tres tipos de tintes
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	25x85x1mm

Proceso: sumergimos tres planchas de PVC en tres tipos de tintes al agua para madera.

Material cubriente	
Denominación	Tinte al agua para madera colores: sapelli base, roble claro y nogal claro / http://www.santotomas-sa.com/
Marca	KUPSA
Comportamiento	Absorbe el tinte
Observaciones	En el reverso, las tres planchas absorben el tinte puesto que esa cara es más porosa. Pero en el anverso, solamente el color sapelli base es el que lo absorbe.



Muestra de PVC de calandra con tres tintes.

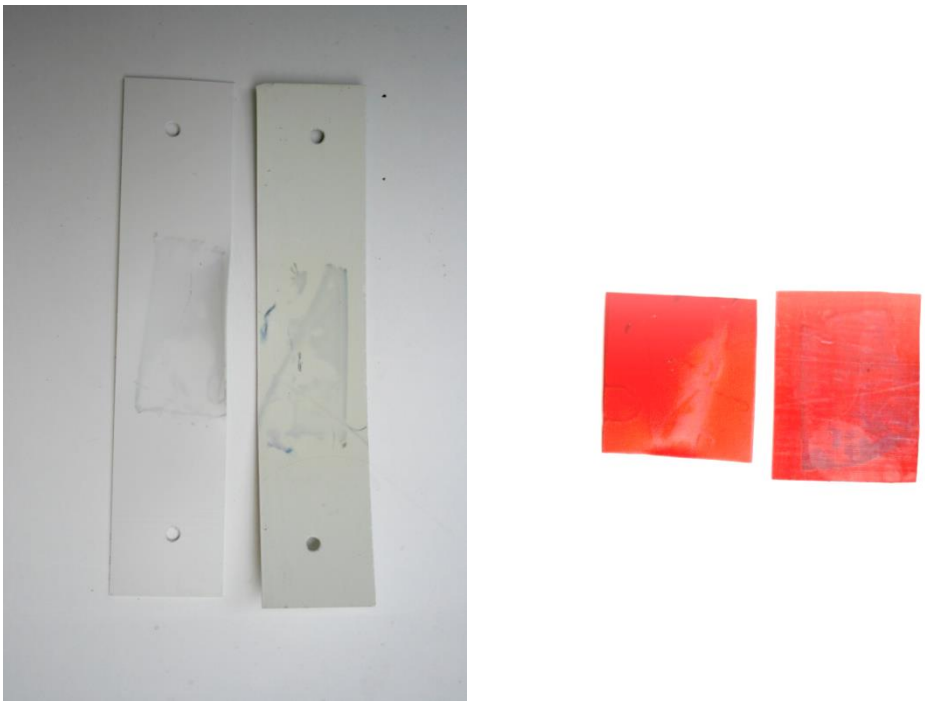
Prueba 14	**23-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	65x65x1mm y 45x85x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco y rojo Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Aplicación de disolvente universal
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	65x65x1mm y 45x85x1mm

Proceso: empapamos un trozo de tela con disolvente y lo presionamos por ambas caras del PVC.

Material cubriente	
Denominación	Disolvente Universal http://www.santotomas-sa.com/
Marca	Martical
Comportamiento	Se reblandece y deforma hacia dentro.
Observaciones	Se comporta igual en ambos lados, se deforma penetrando hacia dentro.



Muestra de PVC de calandra tras aplicarle disolvente universal.

Prueba 15	**23-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	45x95x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Rayado, copia por contacto en papel, prueba por contacto de nuevo a PVC.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	45x95x1mm

Proceso: rayamos con un punzón el PVC hasta realizar la imagen que queramos. Lo entintamos y por contacto lo pasamos a papel; y de este papel, por contacto de nuevo lo pasamos a otro PVC.

Material cubriente	
Denominación	Tinta calcográfica / http://www.angiemeca.com/
Marca	Artools
Comportamiento	Permite realizar tantas copias como queramos sin sufrir daños.
Observaciones	Aunque cueste más rayarlo que un acetato, el resultado es similar y nos da las mismas prestaciones.

Muestra de PVC de calandra tras pruebas por contacto.

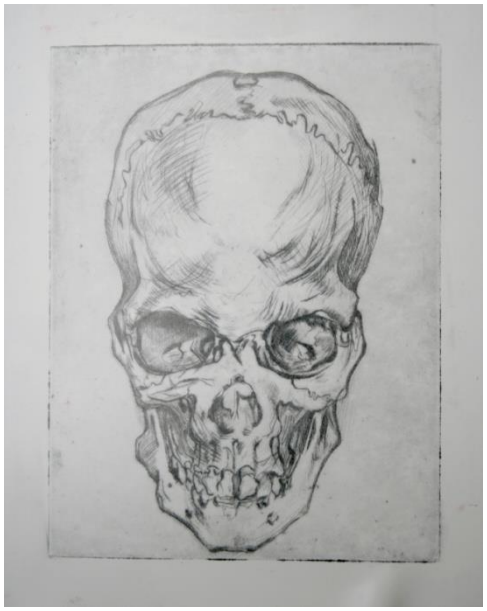
Prueba 16	**23-05-2012**

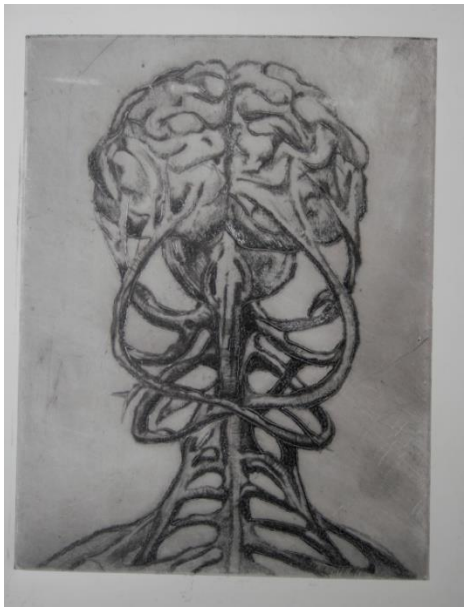
CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	45x95x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Prueba por contacto de zinc a PVC.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	45x95x1mm

Proceso: entintar dos planchas diferentes de zinc, y luego utilizar el PVC como sustitutivo del papel para ver si se trasfiere la imagen.

Material cubriente	
Denominación	Tinta calcográfica / http://www.angiemeca.com/
Marca	Artools
Comportamiento	Se trasfiere perfectamente.
Observaciones	Hay que darle un poco más de presión de lo normal, para que quede más nítida la imagen.





Muestra de PVC de calandra por contacto de zinc.

Prueba 17	**23-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	45x95x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Serigrafía
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	45x95x1mm

Proceso: plasmar imágenes mediante serigrafía directa sobre PVC de calandra, con diferentes tonos.

Material cubriente	
Denominación	Tinta para serigrafía / http://www.angiemeca.com/
Marca	Marbay
Comportamiento	Se adhiere perfectamente.
Observaciones	Hay que dejar secar bien, ya que al ser una superficie poco porosa y absorbente tarda bastante en secar.

Muestra de PVC de calandra serigrafiado.

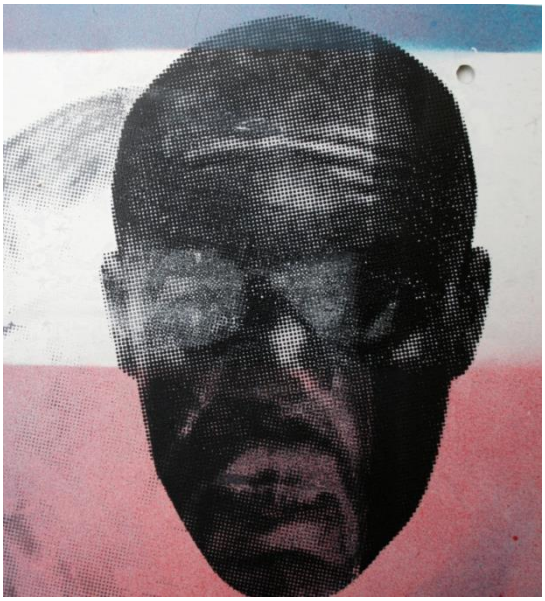
Prueba 18	**23-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	40x95x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Acrílico y aerógrafo
Tipo de intervención	Serigrafía más pintura acrílica y aerógrafo.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	40x95x1mm

Proceso: tras plasmar nuestra imagen en el PVC mediante serigrafía, realizamos unos detalles con aerógrafo y acrílico para ver cómo reacciona.

Material cubriente	
Denominación	Pintura acrílica y aerógrafo http://www.pinturas-dario.com/
Marca	Titan y Montana
Comportamiento	Se adhiere con facilidad.
Observaciones	Al ser una superficie lisa y plástica, el manejo es similar al de una tabla imprimada.



Muestra de PVC de calandra serigrafiado y pintado.

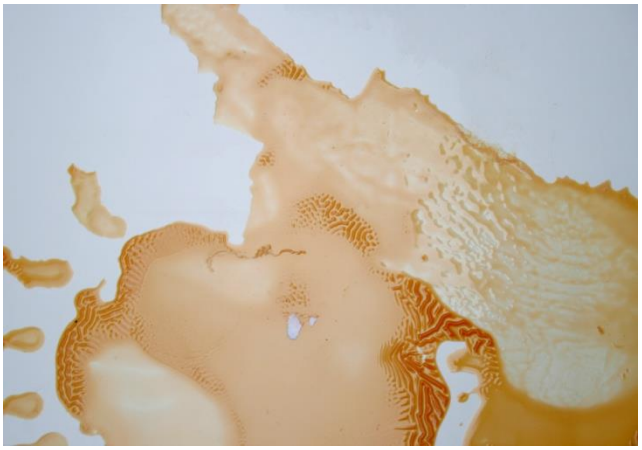
Prueba 19	**23-05-2012**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC de calandra
Dimensión de origen	45x95x1mm
Proveedores	Cantisa, S.A. Quart de Poblet, Valencia, España. http://www.cantisa.es/cantisa.htm
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Barnizado y rayado.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	45x95x1mm

Proceso: aplicamos barniz y arañamos el material para después entintarlo y ver lo que sale en el papel o en el propio PVC.

Material cubriente	
Denominación	Barniz de puerta / http://www.pinturas-dario.com/
Marca	Titan
Comportamiento	Se adhiere perfectamente.
Observaciones	La multiplicidad de este material es infinita, por lo que dejamos el campo abierto a nuevas pruebas.



Muestra de PVC de calandra rallado y barnizado.

1.2 FICHAS TÉCNICAS PVC ESPUMADO

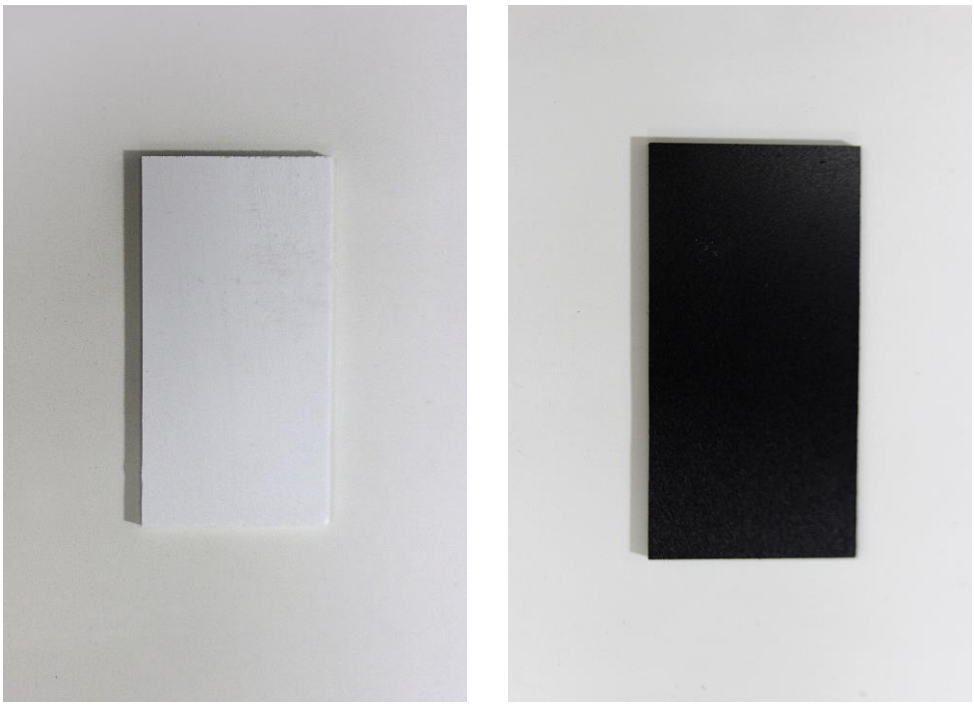
Prueba 1	**15-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco y negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate, negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Ninguna
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: solamente mostramos dos muestras de color blanco y negro de PVC espumado como ejemplo. Ambas caras son iguales.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	Este material al ser espumoso, como su nombre indica, tiene mucha más ligereza que el PVC de calandra, pero por el contrario es menos flexible.



Muestra de PVC espumado en color blanco y negro.

Prueba 2	**15-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	7x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Diferentes tipos de rallado.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	7x5x0.3cm

Proceso: realizamos una serie de rayados para comprobar si la pintura acrílica se adhiere al material y observar la opacidad de la pintura por si la absorbe.

Material cubriente	
Denominación	Rotuladores con pintura de base acrílica no tóxica. https://www.barna-art.com/
Marca	Uni Posca
Comportamiento	Se adhiere con facilidad.
Observaciones	Al ser una superficie lisa y plástica, el manejo del rotulador es similar al de una tabla imprimada. Estos rotuladores poseen una excelente pigmentación y son muy resistentes a la luz.

Muestra de PVC espumado negro rallado con diferentes rotuladores acrílicos.

Prueba 3	**16-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	7x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Trazo sobre la superficie.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	7x5x0.3cm

Proceso: se realiza un estudio mediante la superposición de trazos con rotuladores de la marca Copic a base de alcohol.

Material cubriente	
Denominación	Rotulador marker / http://www.angiemeca.com/
Marca	Copic
Comportamiento	Se adhiere perfectamente.
Observaciones	Este tipo de rotuladores se emplea en ilustración por su fácil aplicación para rellenar fondos. Si lo trabajamos por superposición de capas, cada vez se irá oscureciendo como si estuviésemos trabajando con acuarelas.

Muestra de PVC espumado blanco rallado con rotulador Copic (tinta al alcohol).

Prueba 4	**16-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	7x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Trazo sobre la superficie
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	7x5x0.3cm

Proceso: se realiza un estudio mediante la superposición de trazos con rotuladores Copic a base de alcohol.

Material cubriente	
Denominación	Rotulador marker
Marca	Copic / http://www.angiemeca.com/
Comportamiento	Se adhiere perfectamente.
Observaciones	Este tipo de rotuladores se emplea en ilustración, por su fácil aplicación para rellenar fondos. Si lo trabajamos por superposición de capas, cada vez se irá oscureciendo, como podemos observar en la parte central de la pieza.

Muestra de PVC espumado blanco rallado con rotulador de la marca Copic (tinta al alcohol).

Prueba 5	**17-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Aerógrafo
Tipo de intervención	Degradación mediante aerógrafos
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: realizamos una degradación cromática con aerógrafos pasando de rosa supernova a marrón jaima.

Material cubriente	
Denominación	Pintura de baja presión mate.
Marca	Montana 94 / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Secado rápido, gran durabilidad y alta cubrición.
Observaciones	Al ser una superficie plana y totalmente lisa, la pintura recubre la superficie con facilidad. El secado es rápido y el PVC espumado no sufre ningún tipo de alteración o deformación.

Muestra de PVC espumado blanco aerografiado y degradado.

Prueba 6	**17-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Aerógrafo
Tipo de intervención	Degradación mediante aerógrafos.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: realizamos una degradación cromática con aerógrafos, pasando de marrón jaima a azul lluvia.

Material cubriente	
Denominación	Pintura de baja presión mate
Marca	Montana 94 / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Secado rápido, gran durabilidad y alta cubrición.
Observaciones	Al ser una superficie plana y totalmente lisa, la pintura recubre la superficie con facilidad. El secado es rápido y el PVC espumado no sufre ningún tipo de alteración o deformación.

Muestra de PVC espumado negro aerografiado y degradado.

Prueba 7	**17-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Aerógrafo
Tipo de intervención	Degradación mediante aerógrafos
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: realizamos una degradación cromática con aerógrafos pasando de azul atmósfera espectro[1] a rosa supernova.

[1] Este tipo de aerógrafo tiene la característica de ser semitransparente mate para poder crear atmosferas, sombras o volúmenes.

Material cubriente	
Denominación	Pintura de baja presión mate y semitransparente.
Marca	Montana 94 y Alien Espectro / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Secado rápido, gran durabilidad y alta cubrición.
Observaciones	Al ser una superficie plana y totalmente lisa la pintura recubre la superficie con facilidad. El secado es rápido y el PVC espumado no sufre ningún tipo de alteración o deformación. El color azul atmósfera, aunque le demos la capa de pintura al 100% de relleno, siempre es semitransparente. Por tanto, si queremos obtener degradaciones o sombras más tenues, daremos la pasada desde una mayor distancia.

Muestra de PVC espumado negro aerografiado y degradado.

Prueba 8	**25-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	7x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Acuarela líquida.
Tipo de intervención	Gotas de acuarela líquida.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	7x5x0.3cm

Proceso: dejamos caer varias gotas de acuarela líquida violeta-azul y las extendemos mediante pincel. Luego volvemos a verter acuarela y dejamos secar.

Material cubriente	
Denominación	Acuarela líquida
Marca	Vallejo / http://www.angiemeca.com/
Comportamiento	Al trabajarla con pincel queda muy tenue.
Observaciones	Al ser la superficie poco porosa y casi impermeable, la acuarela líquida si la trabajamos con pincel o algodón apenas se percibe, teniendo que optar por verterla directamente sobre el PVC espumado sin tocarla.

Muestra de PVC espumado blanco con acuarela líquida.

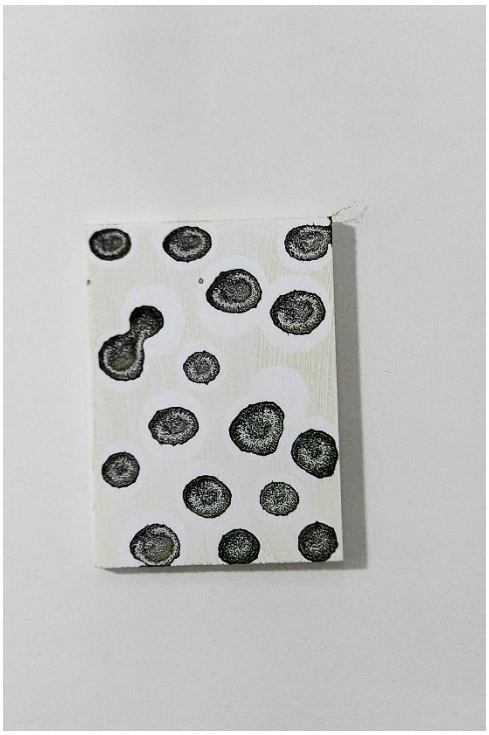
Prueba 9	**25-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	7x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	Acuarela líquida.
Tipo de intervención	Gotas de acuarela líquida.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	7x5x0.3cm

Proceso: dejamos caer varias gotas de acuarela líquida amarillo-ocre y las extendemos mediante pincel. Luego volvemos a verter acuarela y dejamos secar.

Material cubriente	
Denominación	Acuarela líquida
Marca	Vallejo / http://www.angiemeca.com/
Comportamiento	Al trabajarla con pincel queda muy tenue.
Observaciones	Al ser la superficie poco porosa y casi impermeable, la acuarela líquida si la trabajamos con pincel o algodón apenas se percibe, teniendo que optar por verterla directamente sobre el PVC espumado sin tocarla. En este caso el color al no estar diluido en agua, es muy intenso.



Muestra de PVC espumado blanco con acuarela líquida.

Prueba 10	**29-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	8.2x7.4x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Pinceladas de tinta calcográfica.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	8.2x7.4x0.3cm

Proceso: mediante tinta calcográfica sepia natural, rebajada con médium, la esparcimos sobre el PVC espumado y dejamos secar para ver su agarre.

Material cubriente	
Denominación	Tinta calcográfica.
Marca	Charbonnel / http://www.angiemeca.com/
Comportamiento	Cubre bien el soporte. Secado lento.
Observaciones	Para trabajar con este tipo de tintas destinadas a la técnica de grabado, hay que tener en cuenta su viscosidad y su lento proceso de secado. Al ser la superficie muy pulida y con poca porosidad, convendría trabajar por capas para conseguir varias tonalidades.

Muestra de PVC espumado blanco con tinta calcográfica.

Prueba 11	**29-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Sumergimos la plancha por tiempos en tinte para maderas.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: sumergimos la plancha de PVC espumado en tinte al agua con alcohol para maderas, color roble. Una parte la dejamos 1 hora y la otra 8 horas.

Material cubriente	
Denominación	Tinte al agua con alcohol para maderas, color roble.
Marca	Xylazel / http://www.santotomas-sa.com/
Comportamiento	Apenas logra penetrar en el material.
Observaciones	Al sumergir la plancha en el tinte, observamos como independientemente de las horas que la introduzcamos no varía mucho la tonalidad. Aclarar que, los bordes de la pieza al ser espumados absorbe mucho más y si pigmenta.

Muestra de PVC espumado blanco con tinte al agua con alcohol para maderas, color roble.

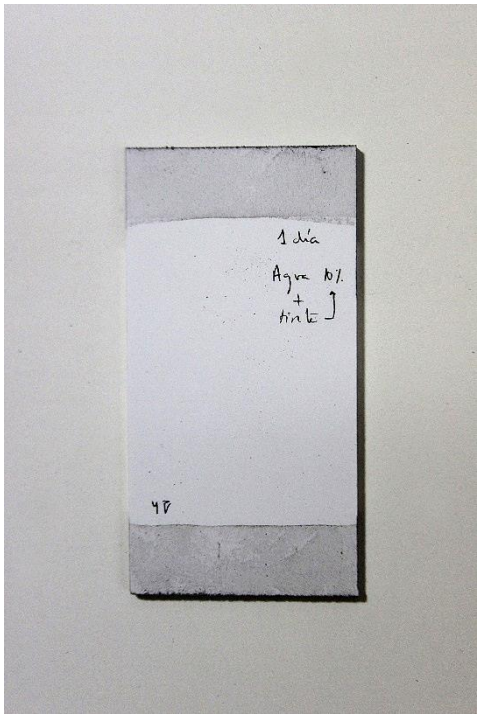
Prueba 12	**29-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Sumergimos la plancha por tiempos, en tinte para maderas (90% de agua y 10% de tinte).
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: sumergimos la plancha de PVC espumado en tinte al agua con alcohol para maderas, color roble. En esta ocasión, rebajamos el tinte: 90% de agua y 10% de tinte.

Material cubriente	
Denominación	Tinte al agua con alcohol para maderas, color roble.
Marca	Xylazel / http://www.santotomas-sa.com/
Comportamiento	Apenas logra penetrar en el material
Observaciones	Al sumergir la plancha en el tinte observamos como independientemente de las horas que la introduzcamos, no varía mucho la tonalidad. Al rebajarlo con agua la tonalidad queda aún más clara.



Muestra de PVC espumado blanco con tinte al agua con alcohol para maderas, color roble.

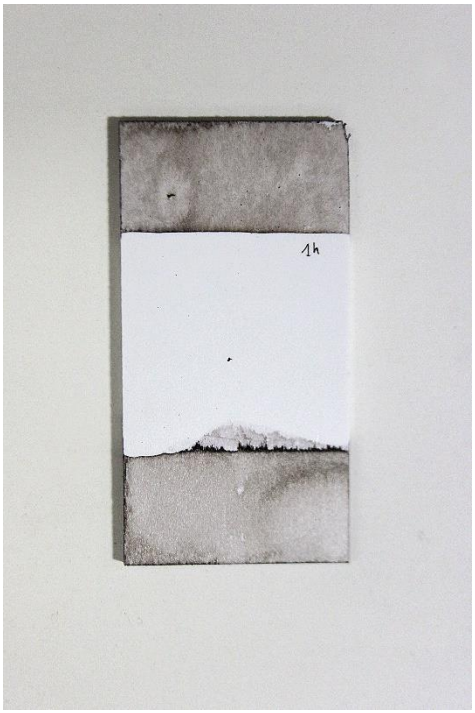
Prueba 13	**29-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Sumergimos la plancha por tiempos en tinte para maderas.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: sumergimos la plancha de PVC espumado en tinte al agua con alcohol para maderas, color nogal. Una parte la dejamos 1 hora y la otra 8 horas.

Material cubriente	
Denominación	Tinte al agua con alcohol para maderas, color nogal.
Marca	Xylazel / http://www.santotomas-sa.com/
Comportamiento	Penetra en el material de forma considerable
Observaciones	Al sumergir la plancha en el tinte, observamos como independientemente de las horas que la introduzcamos no varía mucho la tonalidad. Aclarar que los bordes de la pieza, al ser espumados absorbe mucho más y si pigmenta.



Muestra de PVC espumado blanco con tinte al agua con alcohol para maderas, color nogal.

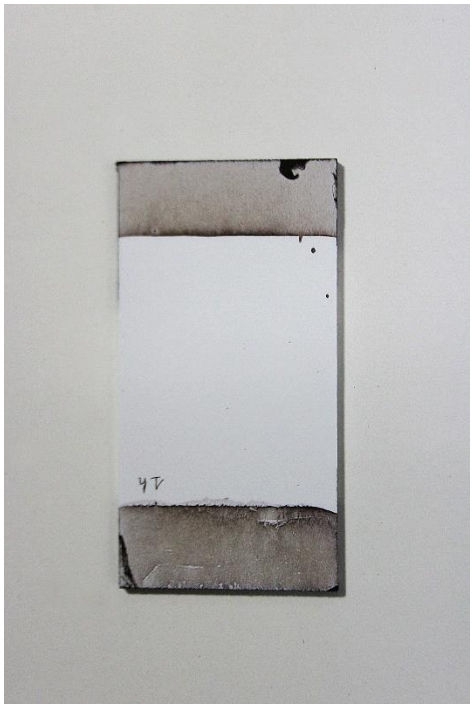
Prueba 14	**29-03-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Sumergimos la plancha por tiempos en tinte para maderas (90% de agua y 10% de tinte).
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: sumergimos la plancha de PVC espumado en tinte al agua con alcohol para maderas, color nogal. En esta ocasión, rebajamos el tinte: 90% de agua y 10% de tinte.

Material cubriente	
Denominación	Tinte al agua con alcohol para maderas, color nogal.
Marca	Xylazel / http://www.santotomas-sa.com/
Comportamiento	Penetra en el material de forma considerable
Observaciones	Al sumergir la plancha en el tinte observamos como independientemente de las horas que la introduzcamos, no varía mucho la tonalidad. Al rebajarlo con agua, la tonalidad queda prácticamente igual.



Muestra de PVC espumado blanco con tinte al agua con alcohol para maderas, color nogal.

Prueba 15	**04-04-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Cubrimiento con esmalte decorativo dorado.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: cubrimos mediante pinceladas, con esmalte decorativo dorado, parte de la superficie.

Material cubriente	
Denominación	Esmalte decorativo oro amarillo metalizado.
Marca	Titan / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Gran capacidad de relleno con acabado brillante.
Observaciones	Cubre perfectamente sin necesidad de tener que reaplicar capas. Al ser la superficie lisa, agradece el trabajo con el pincel.

Muestra de PVC espumado blanco con esmalte decorativo dorado.

Prueba 16	**04-04-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Pan de oro a la mixtión.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: aplicamos una lámina de pan de oro transfer, la cual queda adherida a las zonas donde aplicamos el barniz mixtión.

Material cubriente	
Denominación	Pan de oro transfer
Marca	Nazionale / http://www.angiemeca.com/
Comportamiento	Se aplica con facilidad. La superficie lisa lo agradece.
Observaciones	Las capas que apliquemos de barniz mixtión al agua deben ser lo más delgadas posibles. Para que no se aprecien las cerdas del pincel al superponer la lámina de oro.

Muestra de PVC espumado negro con pan de oro transfer.

Prueba 17	**04-04-2014**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	10x5x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco y negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate, negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Limpieza con siloclean gel.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: Aplicamos gran cantidad de siloclean gel en planchas de distinta pigmentación, para ver como ataca al material y el color.

Material cubriente	
Denominación	Siloclean gel
Marca	Neoquim / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Es absorbido por el PVC y sufre deformaciones.
Observaciones	Siloclean gel, al ser una mezcla de disolventes con un potente poder de limpieza, hace que, al dejarlo actuar durante horas ablande y deforme las zonas donde se aplica.

Muestra de PVC espumado blanco y negro con siloclean gel.

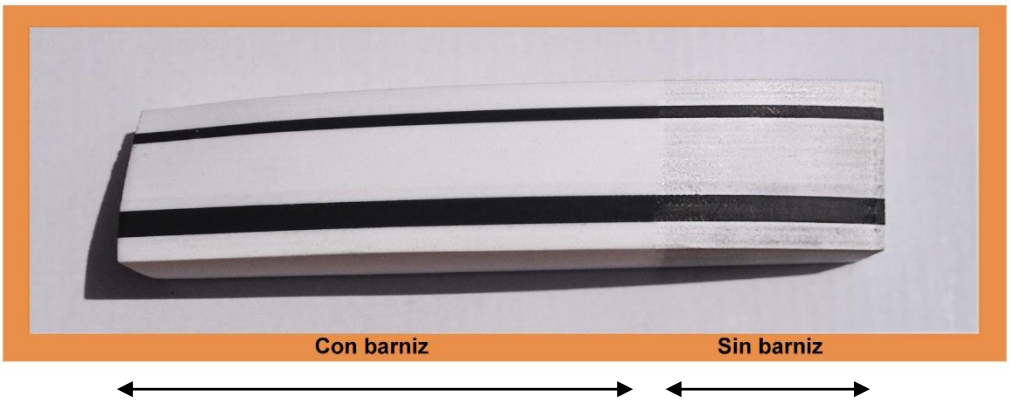
Prueba 18	**10-03-2016**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	PVC espumado
Dimensión de origen	200100x0.3cm
Proveedores	Joaquín Martínez S.L, Murcia, España. http://www.jmsl.net/load.php?Pag=inicio
Cualidades físicas	Color: blanco y negro Textura: lisa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: blanco mate, negro mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	
Tipo de intervención	
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	5x17x4cm

Proceso: Aplicamos cuatro capas de barniz de poliuretano acrílico OMARCRIL M5 para sellar y proteger la pieza.

Material cubriente	
Denominación	013938 OMARCRIL M5
Marca	Omar Coatings, S.A./ http://www.omar.es/es
Comportamiento	El PVC absorbe continuamente el poliuretano acrílico, por lo que es necesario aplicar varias capas.
Observaciones	Se ha enmascarado un tercio de la pieza encolada y fresada para establecer una comparación de la zona donde no se aplica el barniz (derecha) y la que sí (izquierda). La protección se ha aplicado mediante cuatro capas sucesivas a pistola, con un intervalo de aproximadamente cinco minutos entre capa y capa. De esta forma, el barniz se absorbía por el PVC espumado, pero se mantenía lo suficientemente mordiente para garantizar un agarre óptimo entre capa y capa. Visualmente el aspecto del PVC no varía, puesto que la versión del barniz empleada es la más mate. Pero se aprecia que los colores ganan más intensidad y una mayor protección ante suciedad.



Muestra de PVC espumado blanco y negro, encolado y sellado con barniz de poliuretano acrílico OMARCRIL M5.

1.3 FICHAS TÉCNICAS PLA

Prueba 1	**10-02-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) translúcido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: azul translúcido Textura: filamentosa Transparencia: 30% Opacidad: no Brillo: en el reverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Impresión de una plancha en 3D mediante Ultimaker original.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0,3cm

Proceso: solamente mostramos una muestra de este material y su impresión mediante la maquina Ultimaker original como ejemplo de acabado.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	El reverso siempre suele ser más pulido y brillante, está mejor tratado que el anverso, puesto que es la parte que toma contacto directo con la superficie de la máquina. En caso de haber alguna anomalía en la superficie, supondrá que la pieza no salga totalmente homogénea, puesto que al trabajar por capas haría que cada una de las capas se vea afectada por dicha irregularidad, adquiriendo el resultado final una forma con pequeñas variaciones.

Muestra de PLA translucido azul en bovina e impreso al 100% de relleno.

Prueba 2	**10-02-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) flexible (ninjaflex)
Dimensión de origen	Bobina de 250gr de 2.85mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: rojo mate Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: rojo mate

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Ninguna
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	Bobina de 250gr de 2.85mm

Proceso: solamente mostramos dos muestras de filamento flexible para ver las propiedades físicas del mismo.

Material cubriente	Ninguno
Denominación	-
Marca	-
Comportamiento	-
Observaciones	Este material posee una gran resistencia y flexibilidad, lo cual se convierte en una buena opción para la realización de piezas que tengan que soportar altas presiones.

Muestra de PLA flexible o "bendlay".

Prueba 3	**17-02-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) translúcido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: azul translúcido Textura: filamentosa Transparencia: 30% Opacidad: no Brillo: en el reverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Inmersión y baños de vapor con solventes.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: primero sumergimos la plancha de PLA en Xylol durante 3 minutos y luego le damos un baño de vapor con Thinner Americano durante 8 minutos.

Material cubriente	
Denominación	Xylol y Thinner Americano
Marca	Pochteca / https://quimicoslynsol.com/
Comportamiento	Decoloración y deformación del PLA.
Observaciones	Tras la primera parte del proceso, cuando sumergimos la pieza en Xylol, lo primero que observamos es la decoloración parcial de la plancha, y tras darle el baño de vapor con Thinner Americano es cuando se produce cierta deformación a la vez que se vuelve más maleable.

PLA translúcido azul sumergido en Xylol y bañado con solvente Thinner Americano.

Prueba 4	**17-02-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) translúcido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: azul translúcido Textura: filamentosa Transparencia: 30% Opacidad: no Brillo: en el reverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Baño de vapor y agresión con solventes.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: primero le damos un baño de vapor con Thinner Acrílico durante 5 minutos, y luego vertemos acetona sobre el mismo y la dejamos actuar 8 horas.

Material cubriente	
Denominación	Thinner Acrílico y acetona.
Marca	Pochteca / https://quimicoslynsol.com/
Comportamiento	Decoloración y deformación del PLA.
Observaciones	Al darle el baño de vapor, con Thinner Acrílico, la pieza sufre una deformación, pero en esta ocasión no es tan maleable como con el Thinner Americano. Luego al verter la acetona observamos cómo se decolore, y al ser un material traslúcido nos permite ver cómo la acetona penetra en cada capa de la impresión de la plancha formando una degradación.

PLA translúcido azul bañado con solvente Thinner Acrílico y salpicado con acetona.

Prueba 5	**17-02-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) sólido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: negro brillante Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: en el anverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Superposición de dos planchas mediante pegamento.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: realizamos dos pruebas de pegado de planchas, una con pegamento Super Glue-3 y otra con pegamento para PVC rígido.

Material cubriente	
Denominación	Pegamento para PVC rígido y Super Glue-3.
Marca	Wurth y Loctite / http://www.servirain.com/
Comportamiento	Ambas partes se pueden desprender.
Observaciones	Si observamos la parte superior, sólo quedan restos de pegamento, que en este caso son de la marca Wurth. Tras someterle cierta presión a la plancha impresa, logramos despegarla con facilidad, mientras que en la parte inferior (la plancha pegada con SuperGlue-3) quedan fragmentos adosados.

Restos de placa de PLA naranja traslúcida tras pegarla a otra plancha de PLA negra brillante mediante distintos pegamentos.

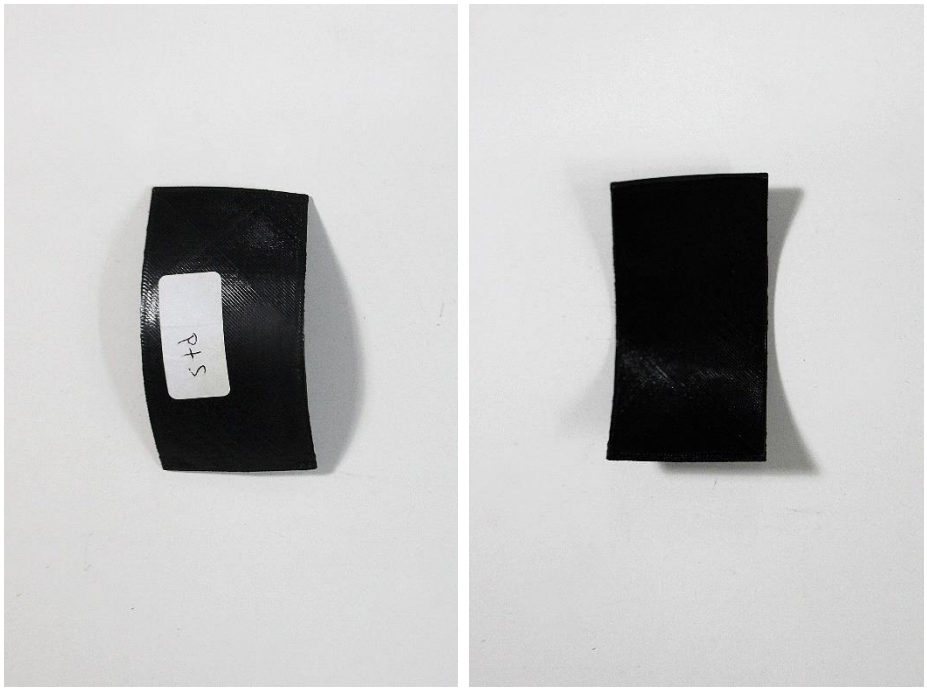
Prueba 6	**17-02-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) sólido.
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: negro brillante Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: en el anverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Baño de vapor con solventes.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: baño de vapor con Thinner Estándar durante 10 minutos.

Material cubriente	
Denominación	Thinner Estándar
Marca	Pochteca / https://quimicoslynsol.com/
Comportamiento	Deformación del PLA.
Observaciones	Al darle el baño de vapor con Thinner Estándar, la pieza sufre una deformación mayor que en los casos anteriores.



PLA negro brillante sumergido bañado con solvente Thinner Estándar.

Prueba 7	**06-03-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) sólido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: negro brillante Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: en el anverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Baño de vapor y agresión con solventes.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: baño de vapor con Thinner Americano durante 5 minutos y luego vertemos acetona sobre el mismo, y la dejamos actuar 8 horas.

Material cubriente	
Denominación	Thinner Americano y acetona.
Marca	Pochteca / https://quimicoslynsol.com/
Comportamiento	Decoloración y deformación del PLA.
Observaciones	Al darle el baño de vapor con Thinner Americano la pieza sufre una deformación. Luego al verter la acetona observamos cómo se decolore.

PLA negro brillante bañado con solvente Thinner Americano y salpicado con acetona.

Prueba 8	**06-03-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) translúcido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: naranja translúcido Textura: filamentosa Transparencia: 30% Opacidad: no Brillo: en el reverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Baño de vapor y agresión con solventes.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: baño de vapor con Thinner Americano durante 7 minutos, y luego vertemos acetona sobre el mismo y la dejamos actuar 8 horas.

Material cubriente	
Denominación	Thinner Americano y acetona.
Marca	Pochteca / https://quimicoslynsol.com/
Comportamiento	Decoloración y deformación del PLA.
Observaciones	Al darle el baño de vapor con Thinner Americano la pieza sufre una deformación sin ser maleable. Luego al verter la acetona observamos cómo se decolore.

PLA naranja translúcido bañado con solvente Thinner Americano y salpicado con acetona.

Prueba 9	**13-03-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) sólido
Dimensión de origen	Bobina de 250gr de 1,75mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: blanco semi-brillante Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: en el anverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Cubrimiento con esmalte decorativo dorado.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: cubrimos, mediante pinceladas, con esmalte decorativo dorado parte de la superficie.

Material cubriente	
Denominación	Esmalte decorativo oro amarillo metalizado.
Marca	Titan / http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Gran capacidad de relleno con acabado brillante.
Observaciones	Cubre perfectamente sin necesidad de tener que reaplicar capas. Al ser la superficie lisa agradece el trabajo con el pincel.

PLA blanco semi-brillante con esmalte decorativo dorado.

Prueba 10	**13-03-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) sólido
Dimensión de origen	Bobina de 250gr de 1,75mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: blanco semi-brillante Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: en el anverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Pan de oro a la mixtión.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: aplicamos una lámina de pan de oro transfer la cual queda adherida a las zonas donde aplicamos el barniz mixtión.

Material cubriente	
Denominación	Pan de oro transfer
Marca	Nazionale / http://www.angiemeca.com/
Comportamiento	Se aplica con facilidad. La superficie lisa lo agradece.
Observaciones	Al dar las capas de barniz mixtión al agua deben ser lo más delgadas posibles para que no se aprecien las cerdas del pincel al superponer la lámina de oro. Aun así, como la impresión siempre tiene pequeños saltos entre capa y capa, el oro acentúa esa trama.

PLA blanco semi-brillante con pan de oro transfer.

Prueba 11	**20-03-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) translúcido
Dimensión de origen	Bobina de 500gr de 3mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: naranja translúcido Textura: filamentosa Transparencia: 30% Opacidad: no Brillo: en el reverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Inmersión y baños de vapor con solventes.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: primero sumergimos la plancha de PLA en Xylol durante 1 minuto y luego le damos un baño de vapor con Thinner Americano durante 7 minutos.

Material cubriente	
Denominación	Xylol y Thinner Americano
Marca	Pochteca / https://quimicoslynsol.com/
Comportamiento	Decoloración y deformación del PLA.
Observaciones	Tras la primera parte del proceso, cuando sumergimos la pieza en Xylol, lo primero que observamos es que se decolore un poco (en este caso la dejamos menos tiempo actuar que en la prueba 3). Posteriormente, le aplicamos el baño de vapor con Thinner Americano que es cuando se produce cierta deformación sin ser tan maleable.

PLA translúcido naranja sumergido en Xylol y bañado con solvente Thinner Americano.

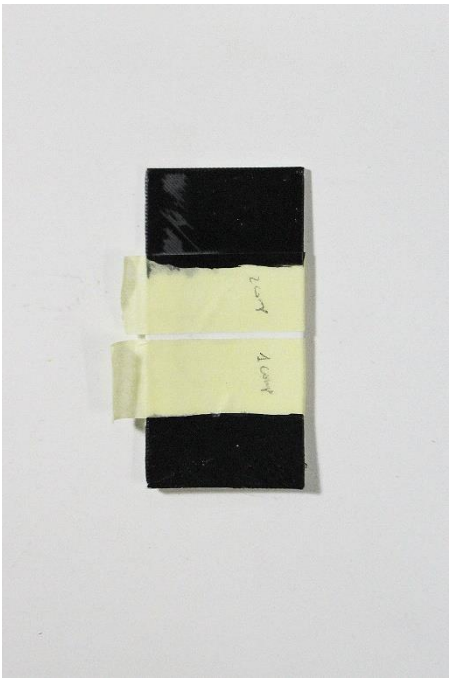
Prueba 12	**20-03-2015**

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE	
Denominación del soporte	Filamento (PLA) sólido
Dimensión de origen	Bobina de 250gr de 1,75mm
Proveedores	Mex-Bot, imprenta y fábrica, Guadalajara, México. https://www.mex-bot.com/
Cualidades físicas	Color: blanco semi-brillante Textura: filamentosa Transparencia: ninguna Opacidad: si Brillo: en el anverso en función de la incidencia de la luz.

Tratamiento del soporte	
Imprimación	No
Tipo de intervención	Aplicamos pintura de dos compones y esmalte acrílico.
Montaje reforzado	No
Enmarcación	No
Dimensiones acabado	10x5x0.3cm

Proceso: aplicamos en la parte superior pintura monocapa universal de dos componentes negra brillante, y abajo esmalte acrílico satinado.

Material cubriente	
Denominación	Monocapa universal acrílico poliuretano 2c/ esmalte acrílico satinado (ambos color negro).
Marca	BESA,Bernardo Ecerrano/ Bruguer http://www.pinturas-dario.com/
Comportamiento	Cubre casi la totalidad de la pieza aunque la de dos componentes genera transparencias.
Observaciones 	En la parte superior, la pintura de dos componentes no llega a cubrir al 100% la superficie mientras que el esmalte acrílico de la parte inferior sí.



PLA blanco semibrillante con pintura monocapa universal acrílico poliuretano de dos componentes negra en la parte superior y esmalte acrílico satinado negro en la inferior.

Esta tesis se terminó de imprimir en el mes de junio de 2017.
Universidad de Murcia.
Murcia, 2017.